



Journal Homepage: - www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/23023
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/23023>



RESEARCH ARTICLE

TENDANCE D'EVOLUTION ET MODE D'OCCURRENCE DES PLUIES EXTREMES DANS LE DOMAINE CLIMATIQUE SUD-SUDANAIEN A L'OUEST DU BURKINA FASO

Gouroumana Kambiré¹, Songanaba Rouamba², Abdoulaye Badaye Sirima³ & Touobèwère Noël Somé¹

1. Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés/Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso.

2. Université Norbert ZONGO, Département de Géographie, Burkina Faso.

3. Université Faustin Sié SIB, Département de Géographie, Burkina Faso.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 12 January 2026

Final Accepted: 14 February 2026

Published: March 2026

Key words :-

rainfall extremes, mode of occurrence south sudanian-climatic domain, BF.

Abstract

Knowledge of the evolution and temporal distribution of extreme rain fall events in the southern Sudanian region to the west of Burkina Faso is of vital importance. This will help in decision-making to prevent the effects of the risks associated with these phenomena. The aim of this study is to characterise, through statistical and graphical analysis, the trends in the occurrence of extreme rainfall events that are likely to compromise the development of people's activities. The results show that some aspects of these rainfall extremes are declining while others are increasing. The frequency indices for these types of rainfall all show a non-significant upward trend, and are homogeneous over the study period (1980-2019) at the used stations. As for rainfall intensity, it shows both a downward and an upward trend, depending on the station and the index used. Very heavy daily rainfall of the order of 38.80 mm or more at Bobo, and 40 mm or more at Gaoua, can occur every year. Between 1980 and 2019, 55% of these rains were recorded between July and August in Gaoua. In Bobo, around 80% of this rain fell between August and September. As for the extremely heavy rains which are greater than 68.80 mm and 65 mm at Bobo and Gaouya station respectively, they have a return period of 2 years. Over the study period, 57% of these types of rain occurred at Gaoua between July and August. At Bobo, 44% of these rains occurred between August and September. Extreme rainfall thus seems to be more frequent in the study area during the months of July, August and September, which are the rainiest months of the year. They arrive later in Bobo compared to Gaoua.

"© 2026 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction :-

Aujourd'hui, le réchauffement planétaire a conduit à la modification du régime de plusieurs paramètres climatiques, dont la pluviométrie et les températures. La perturbation de ces paramètres fondamentaux du climat a eu pour conséquence, l'apparition de plus en plus fréquentes phénomènes météorologiques extrêmes. Parmi ces

Corresponding Author :- Gouroumana Kambire

Address :- Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés/Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso.

phénomènes, les canicules, les sécheresses et les fortes pluies figurent en bonne place (Sarr, 2010 ; GIZ, 2021). Ces dernières décennies, les extrêmes météorologiques sont à l'origine de plus de 80 à 90 % des catastrophes naturelles qui surviennent dans le monde (OMM, 2006). Le nombre des catastrophes liées à ces extrêmes météorologiques a connu une augmentation fulgurante, passant de 195 en moyenne entre 1987 et 1998, à 365 entre 2000 et 2006 (Sanogo, 2010). En Afrique, l'une des régions la plus exposée et les plus vulnérables aux impacts des changements climatiques (GIEC, 2014), une recrudescence de ces extrêmes conduisant à des inondations désastreuses a été observée ces dernières décennies. En Afrique de l'Ouest précisément, une hausse exponentielle du nombre d'inondations consécutives à des fortes pluies est relevée par plusieurs auteurs (Sarr, 2010 ; Adjakpa et al., 2016). Ce nombre est passé à moins de 2 par an avant 1990, à plus de 8 voire 12 en moyenne par an au cours des années 2000 (Sarr B. 2010).

A l'instar des autres pays de la région, le Burkina Faso fait face au dérèglement du régime pluviométrique avec son corolaire de pluies extrêmes de plus en plus fréquentes. Selon SP/CONNED (2010), les catastrophes naturelles les plus fréquentes au Burkina Faso ces dernières décennies sont liées soient aux inondations occasionnées par les pluies diluviennes, soient aux sécheresses. Pour ABV-OMM-GWP Initiative Volta GIC (2016), les inondations liées aux pluies extrêmes détiennent le palmarès en termes de dommages causés par les catastrophes naturelles au Burkina Faso. L'exemple des inondations exceptionnelles de septembre 2009, suite à la pluie diluvienne tombée sur presque toute l'étendue du territoire national (SP/CONNED, 2010) illustrent à souhait ces affirmations. Ces inondations qui ont touché 11 des 13 régions administratives du pays ont entraîné la submersion de plus de 9300 hectares de cultures sur l'ensemble du pays, et la destruction de plusieurs ouvrages d'art (Sarr, 2010). Elles ont occasionné 9 décès et environ 220 000 sinistrés dont 150 000 dans la capitale du pays (CONASUR, 2009). Au regard de ces statistiques, les fortes pluies constituent une entrave au développement des activités économiques et au bien-être des populations du Burkina Faso.

Ainsi, la connaissance du mode de dispersion temporelle des pluies extrêmes pourrait aider dans la planification de la prévention et de l'adaptation aux risques d'inondation. Or, les travaux de recherche sur les fortes pluies au Burkina Faso, et dans le domaine climatique sud-soudanien en particulier sont peu fournis. Le peu d'études réalisées sur ce sujet se sont surtout intéressées à l'évolution temporelle de ces phénomènes. Leur mode d'occurrence n'est pratiquement pas abordé. Fort de ce constat, cet article est initié pour mener la réflexion sur l'évolution et le mode d'occurrence des extrêmes pluviométriques dans le domaine climatique sud-soudanien à l'ouest du Burkina Faso. En effet, étant le domaine climatique du pays qui reçoit les plus fortes quantités de pluies, et également une zone de production agricole par excellence, les risques d'inondations liés aux pluies extrêmes y sont plus élevés et redoutés. L'objectif de l'étude est de caractériser d'une part la tendance d'évolution temporelle des pluies extrêmes, puis leur mode d'occurrence dans cette partie du pays d'autre part.

Données et Méthodes : -

Cadre géographique de l'étude : -

Cette étude est menée dans la zone Ouest du Burkina Faso. La zone géographique visée regroupe 03 régions administratives du pays à savoir le Guiriko, le Djôrô et le Tannounyan. A l'exception du Guiriko dont une petite partie au Nord-est connaît un climat nord-soudanien, ces régions sont les seules du pays à être entièrement couvertes par le domaine climatique sud-soudanien (fig.1). Selon Selon INSD (2019), cette zone s'étend sur une superficie d'environ 60 436 km². Bénéficiant d'un climat de type sud-soudanien, elle enregistre des températures moyennes annuelles généralement situées entre 27 °C et 29°C. Les cumuls pluviométriques annuels vont de 900 mm à plus de 1100 mm, avec une saison des pluies qui s'étale sur 6 à 7 mois (GIZ, 2021). Cette zone dispose d'une gamme variée de sols comprenant entre autres, les sols hydromorphes et bruns eutrophes, les sols à sesquioxides à matières organiques, les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés ou lessivés, les sols ferrallitiques, les lithosols et les sols peu évolués d'érosion.

Dans l'ensemble, ces sols présentent des potentialités agronomiques appréciables et sont aptes à la culture des principales céréales telles que le sorgho (*Sorghum dura*), le millet (*Pennisetum glaucum*), le maïs (*Zea mays*), le riz (*Oryza sativa L*), niébé (*Vigna unguiculata*), base de l'alimentation des populations. Ces sols sont également propices aux cultures de rente ; surtout le coton (*Gossypium hirsutum*), le sésame (*Sesamum indicum*) et l'arachide (*Pennisetum glaucum*). Toutes ces potentialités font de cette partie du Burkina une importante zone agricole que GIZ (idem) a désignée par périphrase « *grénier à grains* » du Burkina Faso. L'agriculture y est la principale activité économique des populations. Cette zone est drainée par de nombreux cours d'eau dont le Kou, la Comoé, la Léraba,

le Poni, le Mouhoun, qui connaissent des périodes de crues occasionnant des inondations desastreuses lorsque surviennent des pluies extrêmes.

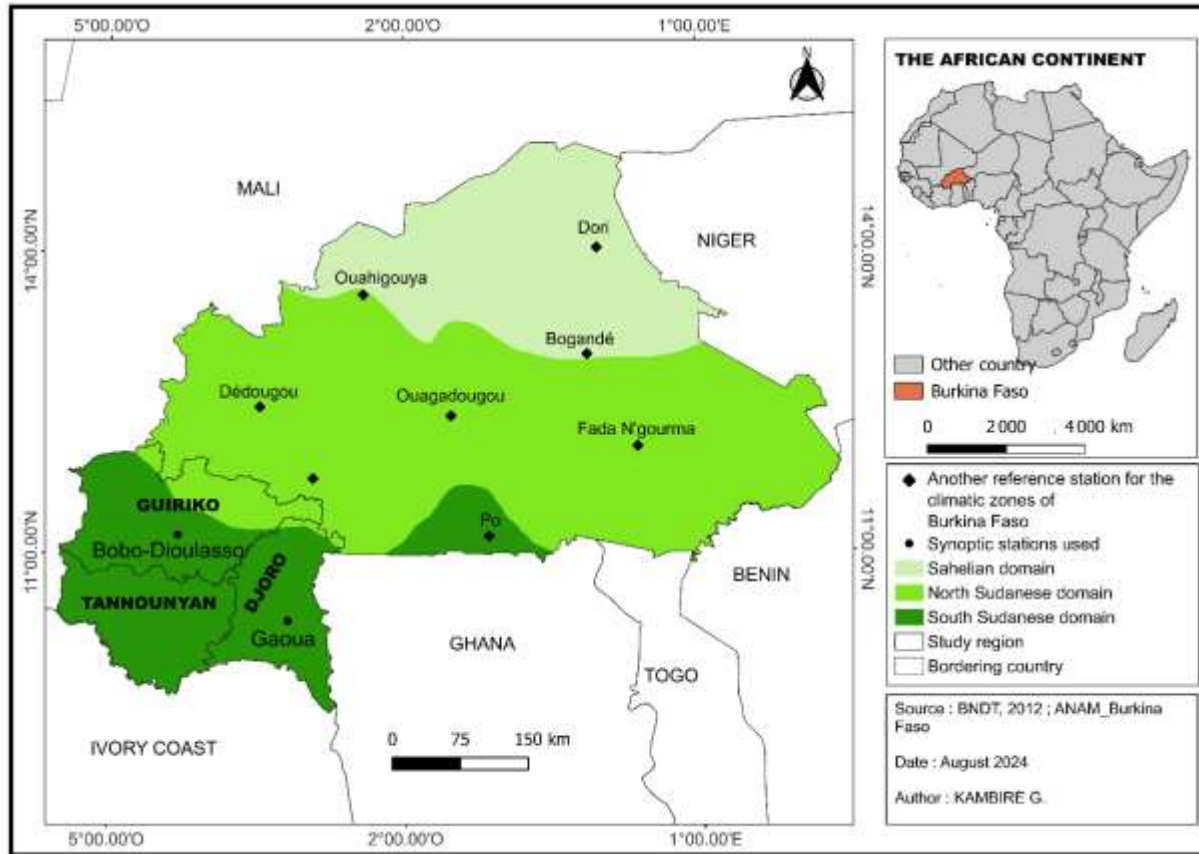


Fig.1 : Situation géographique de l'espace d'étude

Données utilisées : -

Pour l'analyse, les données des stations météorologiques de Gaoua et de Bobo-Dioulasso ont été utilisées. Ces données au pas de temps journaliers couvrent la période de 1980 à 2019, soit une période de quarante (40) ans. Toutefois, pour l'analyse fréquentielle en vue de mettre en évidence le mode d'occurrence des fortes pluies, une longue série allant de 1970 à 2019 (soit 50 ans) a été utilisée. En effet, pour analyser la fréquence des précipitations extrêmes, une période de 40 à 50 ans est généralement conseillée pour les régions où il y a une fluctuation périodique très nette des précipitations (Meylan *al.*, 1999). Les données utilisées ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Burkina Faso.

Traitement des données : -

Les extrêmes climatiques sont généralement définis par leur intensité, leur fréquence et leur durée. Ainsi, la caractérisation des extrêmes pluviométriques dans cette étude a-t-elle consisté d'une part, à la caractérisation de l'évolution linéaire de leur intensité, leur fréquence et leur durée, et d'autre part, à la détermination de leur mode d'occurrence. Pour ce faire, deux méthodes d'analyse ont été utilisées. L'une graphique et l'autre statistique. Afin de caractériser la tendance d'évolution de ces extrêmes, des indices recommandés par l'*Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI)* pour l'étude des extrêmes climatiques sont utilisés. Ces indices caractéristiques des phénomènes intenses ou extrêmes, sont représentés graphiquement afin d'apprécier leur évolution temporelle. Cette méthode graphique exploite la régression linéaire consistant en une représentation graphique de type affine qui présente l'évolution linéaire d'une variable étudiée. L'équation de la droite de tendance s'écrit comme suit : $y = ax + b$; a est la pente ou taux de régression de la variable étudiée, et b une constante. Si $a > 0$, on a une augmentation ; si $a < 0$, on a une diminution.

Dans cette étude, huit indices ont été retenus pour l'analyse. Selon GIZ (2021), l'indicateur de l'intensité des fortes précipitations est la quantité de précipitations maximum ($P \geq 1$ mm) en une journée sur un an ; tandis que l'indicateur de leur fréquence peut être le nombre de jours franchissant un certain seuil.

Ainsi, certains indices ont été utilisés dans ce travail pour caractériser l'intensité des fortes pluies et d'autres, pour la fréquence et la durée de ces événements. Ce sont :

- ✓ **Indices d'intensité** : il s'agit de l'intensité journalière de pluie, donnée par la hauteur de pluie journalière maximale par an (Rx1day) ; de l'indice simple d'intensité journalière ou intensité moyenne de la pluie (SDII) matérialisée par la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie ; du maximum de trois jours consécutifs de pluies (Rx3j). En effet, les phénomènes d'inondation peuvent bien découler d'un ou de plusieurs jours consécutifs de pluies. Même si le nombre de cinq jours consécutifs de pluies est couramment utilisé dans les travaux, nous avons estimé que trois jours consécutifs de pluies peuvent déjà, au regard des hauteurs de pluies qu'enregistre le domaine d'étude, déclencher des inondations par stagnation ou par crues de cours d'eau. A ces indices s'ajoute l'indice des totaux annuels des précipitations (PRCPTOT). Ce dernier indice ne décrit pas des situations d'extrêmes, mais plutôt des conditions moyennes des précipitations. Il renseigne également sur l'intensité des pluies sur un an (Hallouzet al.,2019). Il est donc pris en compte dans ce travail pour analyser les conditions moyennes annuelles des pluies dans le secteur d'étude.
- ✓ **Indices de fréquence** : ils concernent le nombre de jours avec une hauteur de pluie ($P \geq 1$ mm) supérieure au 95^e percentile (R95p) et au 99^e percentile (R99).
- ✓ **Indices de durée** : il s'agit du nombre maximal de jours consécutifs sans pluie (CDD) et du nombre maximal de jours consécutifs avec pluie (CWD). Un jour est dit pluvieux s'il enregistre une pluie supérieure ou égale à 1mm ($P \geq 1$ mm). Pour les quantités inférieures ($P < 1$ mm), le jour est considéré non pluvieux. Par la suite, le programme RclimDex du logiciel de statistique R a été utilisé pour calculer ces indices (cf. tableau 1).

Tableau 1 : Liste des indices utilisés dans l'analyse des événements pluviométriques extrêmes

Indentification	Nom de l'indice	Definition	Unité
Indices d'intensité			
RX1day	Pluie journalière maximale/an	Cumul maximal de pluie journalière/an	mm
SDII	Simple dayly intensity Index	Lame d'eau moyenne précipitée par Jour de pluie	mm/J
Rx3day	Cumul maximal de 3 jours pluvieux	Cumul maximal de 3 jours consécutifs de pluies	mm
PRCPTOT	Total annuel des pluies	Totaux annuels des précipitations	mm
Indices de fréquence			
R95p	Jours très pluvieux	Nombre de jours de pluie par an supérieur à la valeur de pluie du 95 ^e percentile	%
R99p	Jours extrêmement pluvieux	Nombre de jours de pluie par an supérieur à la valeur de pluie du 99 ^e percentile	%
Indices de duree			
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre maximal de jours consecutifs sans pluie ($P < 1$ mm)	Jours
CWD	Jours pluvieux consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec pluie ($P \geq 1$ mm)	Jours

Source : ANAM, 2020

La méthode graphique est complétée par l'analyse statistique. Elle a consisté d'une part, à l'application des tests de Pettitt et de Mann-Kendall aux series des extrêmes pluviométriques constituées, et à l'analyse fréquentielle des pluies journalières maximales d'autre part. Le test de Pettitt est utilisé pour rechercher une éventuelle rupture de stationnarité dans ces series ; tandis que le test non paramétrique de Mann-Kendall est utilisé pour étudier le degré de significativité des tendances d'évolution temporelle de ces différents indices. Le choix de ces tests se justifie non seulement par leur aptitude à détecter les ruptures ou les tendances, mais également leur utilisation courante pour ces types d'analyse. Dans le test de Pettitt, l'hypothèse nulle H_0 testée est : « il n'y a pas de rupture ». Lorsque l'hypothèse nulle est acceptée, on déduit qu'il n'y a pas de rupture dans la serie (X_i) de taille N . Au cas contraire, la contre-hypothèse (présence de rupture) est acceptée et une date de rupture est proposée. Le test non-paramétrique de

Mann-Kendall permet à son tour d'évaluer le degré de significativité d'une tendance. Dans ce test, trois (03) statistiques importantes sont générées : la statistique S, le tau ou coefficient des rangs de Kendall et la p-value ou variable réduite. L'hypothèse H_0 testée est qu'il n'y a pas de tendance. Si la p-value est inférieure au niveau de significativité α choisi ($p < \alpha$), l'hypothèse H_0 est rejetée et on conclut à l'existence d'une tendance significative au seuil choisi (il est de 5% dans cette étude). La statistique S de Kendall représente un solde qui, lorsqu'il est positif, indique une évolution temporelle à la hausse du phénomène étudié : et lorsqu'il est négatif, indique une baisse (Tra bi,2013). Le logiciel XLSTAT version 2022 a été utilisé pour la réalisation de ces tests.

Quant à l'analyse fréquentielle, elle a été mobilisée pour étudier les probabilités d'occurrence des pluies extrêmes. L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus pluviométrique donné, afin d'en définir les probabilités d'apparition future. Elle repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation mathématique décrivant le comportement statistique d'une variable (les pluies journalières maximales par an sont ici concernées) par le biais de sa fonction de répartition (Meylan P. et *al.*, 1999). Dans cette étude, le modèle de Gumbel a été utilisé. Ce modèle est réputé pour ses meilleurs résultats dans l'ajustement des événements extrêmes journaliers, surtout dans le domaine soudanien (Kodja D. J., 2018). La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$F(x) = \exp(-\exp(-\frac{x-a}{b}))$; avec $\frac{x-a}{b} = u$; u étant la variable réduite de Gumbel. Ainsi, a et b sont les paramètres de Gumbel avec a , est le paramètre de position appelé mode, et b le paramètre d'échelle appelé gradex (Gradient exponentiel des valeurs extrêmes) et x , la variable étudiée (les hauteurs de pluie journalières maximales dans cette étude). Par simplification, la fonction de répartition de la loi de Gumbel s'écrit alors de la manière suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-u}} \quad \text{et} \quad u = -\ln(-\ln(F(x)))$$

En outre, la formule de Hazen a été utilisée pour calculer la probabilité au non-dépassement des pluies extrêmes. Une multitude de formules empiriques existent pour le calcul de ces probabilités, mais plusieurs simulations ont montré que la fréquence empirique ou expérimentale de Hazen est appropriée quand on utilise le modèle fréquentiel de Gumbel (Koudamiloro, 2017). Après un classement par ordre croissant d'un échantillon de pluies maximales de taille n , l'expression de la fréquence empirique ou expérimentale au non-dépassement de Hazen pour une valeur x de rang m se note :

$$F(X_{[m]}) = \frac{m-0.5}{n}$$

Où m est le rang des observations (classées par ordre croissant) ; n est la taille de l'échantillon et 0.5 la constante de la formule de Hazen ; $x_{[m]}$, est la valeur de rang m dans l'ordre des valeurs classées de façon croissante. Après l'ajustement par la loi de Gumbel, plusieurs quantiles (hauteurs de pluies journalières) et leur période de retour peuvent être estimés. Et, cela avec pour but de déterminer les périodes de retour des événements pluvieux extrêmes qui sont à l'origine des inondations dévastatrices. Le temps de retour (T) d'un événement caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. Il est également défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'évènement et est obtenue par la formule suivante :

$$T = \frac{1}{1 - F(X_{[m]})}$$

Par ailleurs, pour que les résultats de l'analyse fréquentielle soient valides, les données utilisées doivent satisfaire à trois hypothèses de base. Il s'agit de l'indépendance, de l'homogénéité et la stationnarité des données. Ainsi, la série de pluies journalières maximales par an a été soumise au test d'homogénéité de Wilcoxon, de stationnarité de Kendall et d'indépendance de Wald-Wolfowitz disponibles dans le logiciel Hyfran (hydrological frequency analysis).

Résultats : -

Tendance d'évolution des pluies extrêmes : -

➤ Evolution des indices de l'intensité des fortes pluies : -

La figure 2 montre l'évolution des pluies journalières maximales sur une année et la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie à la station météorologique de de Bobo-Dioulasso et de Gaoua. Chacun des deux indices caractérise l'intensité des fortes pluies (GIZ, 2021).

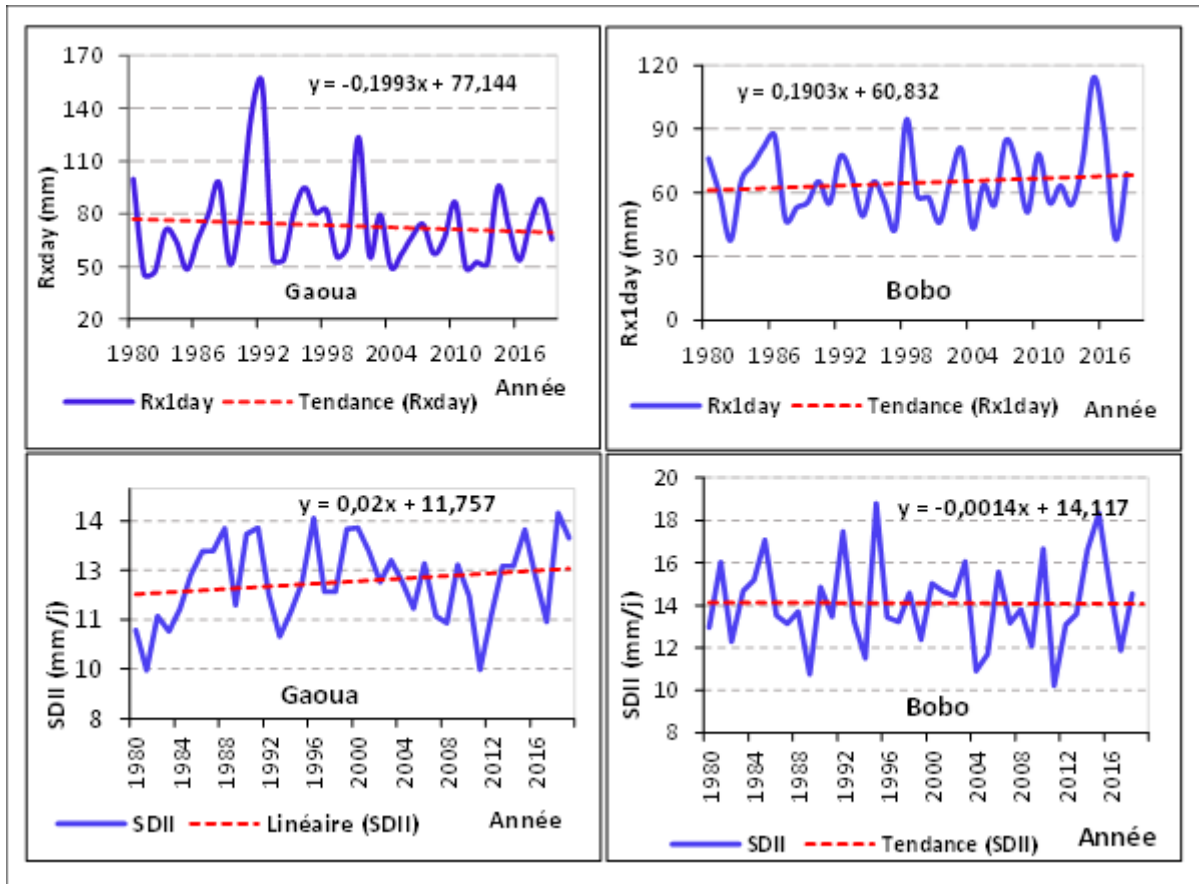


Fig.2 : Indices de l'intensité journalière et des totaux annuels de pluie

Source : ANAM 2021

L'analyse de la figure 2 montre deux situations inverses dans la tendance d'évolution de chacun de ces indices d'intensité de pluie au niveau des deux (02) stations météorologiques. En effet, à la station de Gaoua, la courbe de l'indice de l'intensité journalière des pluies (Rx1day) montre une tendance à la baisse, tandis que leur intensité moyenne (SDII) affiche une tendance à la hausse. Ce résultat signifie pour l'essentiel, qu'il y a eu, sur la période d'étude, de moins en moins de fortes pluies journalières à Gaoua. À la station de Bobo-Dioulasso, c'est la situation inverse qui est présentée : l'intensité journalière des pluies donnée par les pluies journalières maximales par an (Rx1day) montre une tendance à la hausse, pendant que l'intensité moyenne (la lame d'eau de pluie précipitée par jour) affiche une légère baisse. Cela signifierait qu'il y a eu, sur la période d'étude, de plus en plus de fortes pluies journalières dans la zone de Bobo-Dioulasso. L'intensité journalière des pluies y a augmenté de 0,19mm/an, soit de 7,6 mm/an sur les 40 ans. Par contre, à la station de Gaoua, cette même variable a baissé dans la même proportion que la hausse notée à Bobo-Dioulasso. Quant à la lame d'eau de pluie précipitée par jour, elle croît de 0,02mm/J par an à Gaoua tandis qu'à Bobo-Dioulasso, elle est quasi-stationnaire avec néanmoins une pente négative.

➤ **Evolution des indices du cumul de trois jours consécutifs et des totaux annuels de pluies : -**

L'indice du cumul maximal de trois jours consécutifs contribue à la caractérisation de l'intensité des pluies dans une zone donnée. Quant à l'indice des totaux annuels des pluies, il renseigne sur les conditions moyennes de pluviométrie permettant ainsi d'apprécier l'intensité annuelle des pluies. Ces indices sont alors utilisés pour renforcer l'analyse de l'intensité des pluies ainsi que des conditions moyennes des pluies et à la station de Bobo-Dioulasso et de Gaoua (fig.3). La figure 3 montre l'évolution des indices des totaux annuels et du cumul maximal de trois jours consécutifs de pluies.

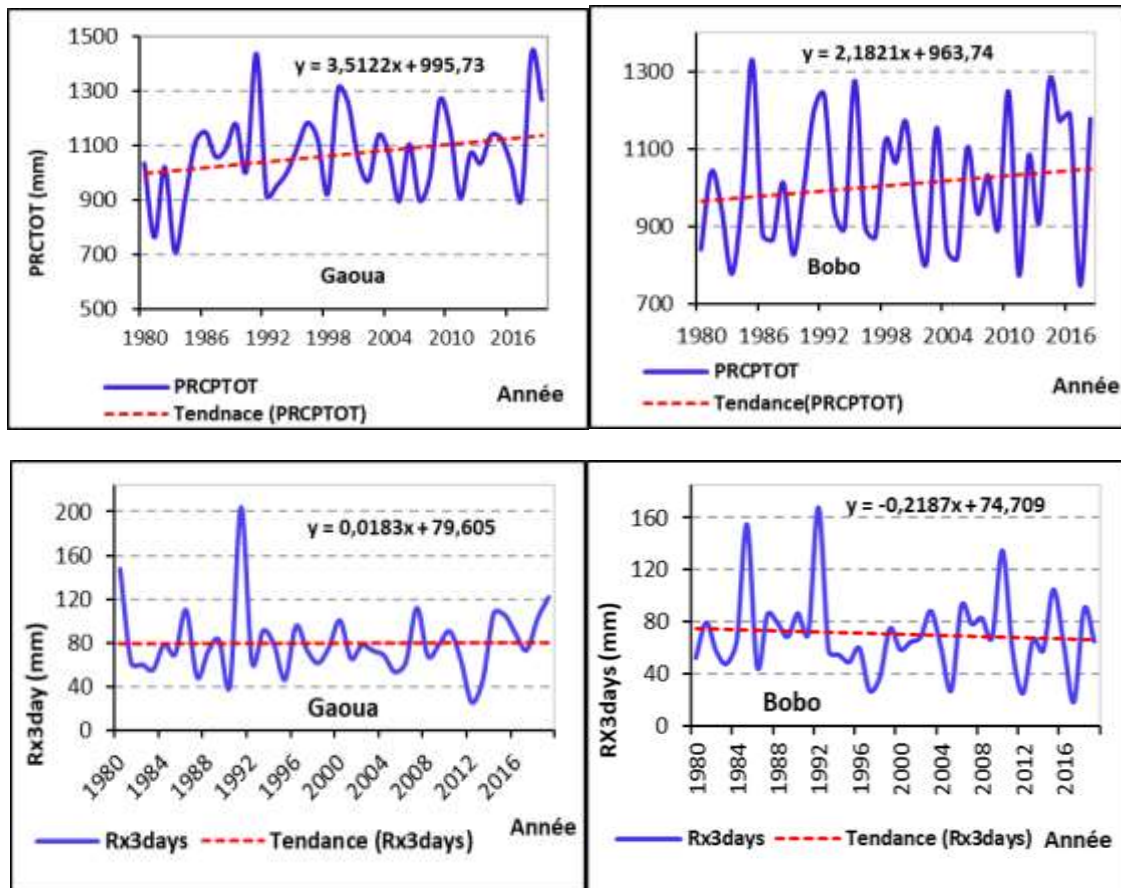


Fig.3 : Indice des totaux annuels et du cumul maximal de trois jours consécutifs de pluies

Source : ANAM 2021

Sur la figure 3, les courbes montrent des pentes positives des indices des totaux annuels de pluies au niveau des stations de Gaoua et de Bobo-Dioulasso ; ce qui signifie qu'il y a eu une tendance à la hausse des cumuls pluviométriques annuels sur la période d'étude au niveau de ces deux stations. Ces hausses sont de 3,51mm/an à Gaoua et 2,18mm/an à Bobo-Dioulasso. Sur la période d'étude (1980-2019), la pluviométrie a donc augmenté de 140,4 mm à Gaoua et de 87,2mm à Bobo-Dioulasso. Quant au cumul maximal de trois jours consécutifs de pluies, il a augmenté de 0,018mm/an à Gaoua et baissé de 0,21mm/an à Bobo-Dioulasso. Outre l'intensité et les conditions moyennes de pluviométrie, la fréquence des pluies extrêmes dans la zone d'étude est analysée.

➤ **Evolution des indices de fréquence des fortes pluies : -**

Afin d'apprécier la fréquence des fortes pluies dans la zone d'étude, le nombre de jours ayant enregistré une hauteur de pluie supérieure au 95^e et 99^e percentile sur la série d'étude est analysé. Ces indices caractérisent respectivement le nombre de jours très humides et extrêmement humides. La figure 4 présente l'évolution de ces indices dans les deux stations au cours de la période 1980 à 2019.

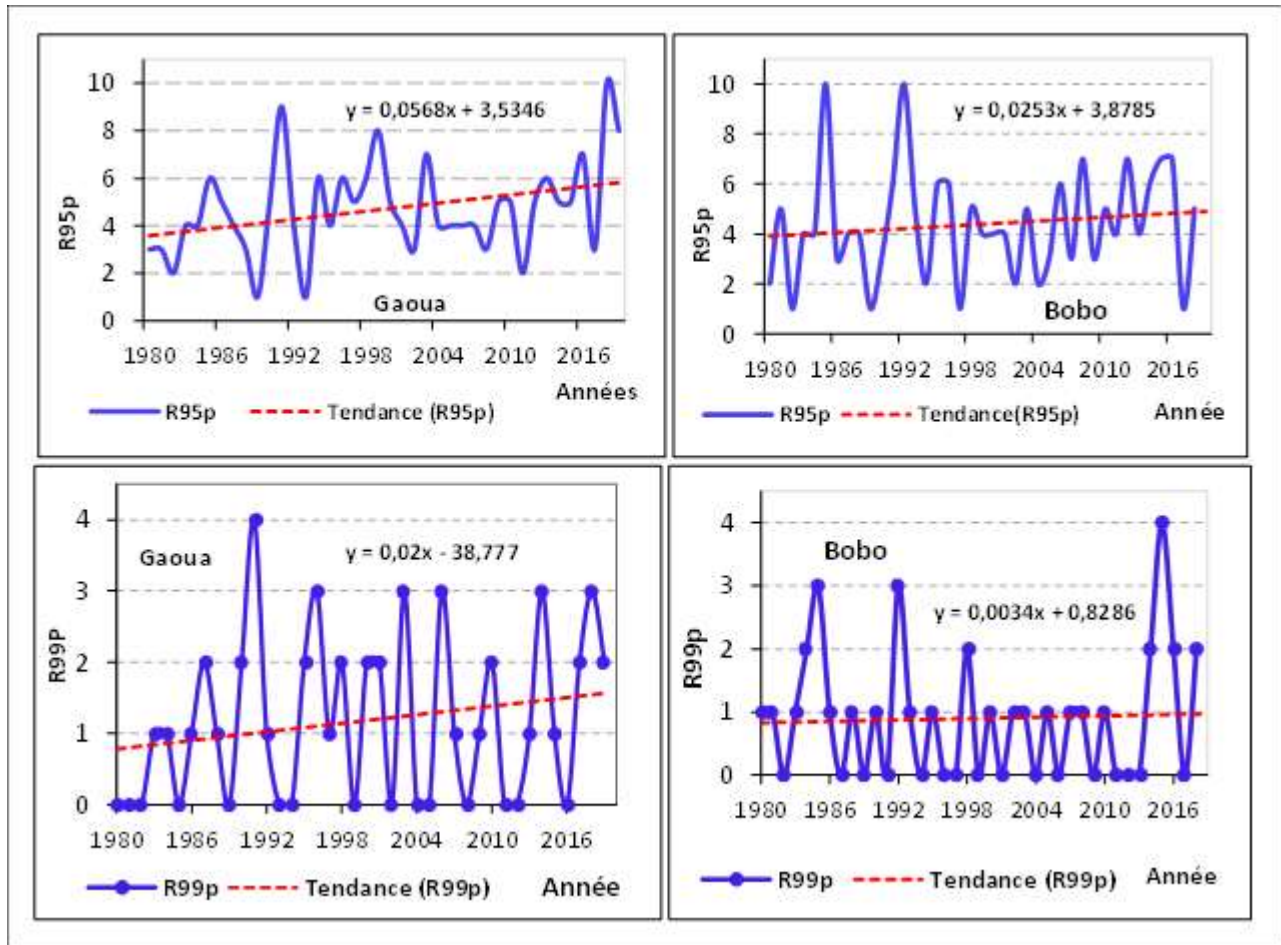


Fig.4 : Indice de jours très humides et extrêmement humides

Source : ANAM, 2020

La figure 4 montre une tendance à la hausse du nombre de jours très humides et extrêmement humides aux stations de Bobo-Dioulasso et de Gaoua. Contrairement à l'intensité des fortes pluies qui évoluent en sens inverse au niveau de ces deux stations, leur fréquence évolue dans la même direction. Bien que les pentes des droites de tendance soient faibles, ce résultat indique tout de même que les fortes pluies sont de plus en plus fréquentes dans le secteur d'étude au cours de la période 1980 à 2019.

➤ **Evolution des indices de durée: -**

La durée des épisodes d'extrêmes pluviométriques est donnée par les indices du nombre maximal de jours pluvieux consécutifs (CWD) et secs consécutifs (CDD). La figure 5 donne une vue d'ensemble de leur évolution au cours de la période d'étude dans la zone Ouest du Burkina Faso.

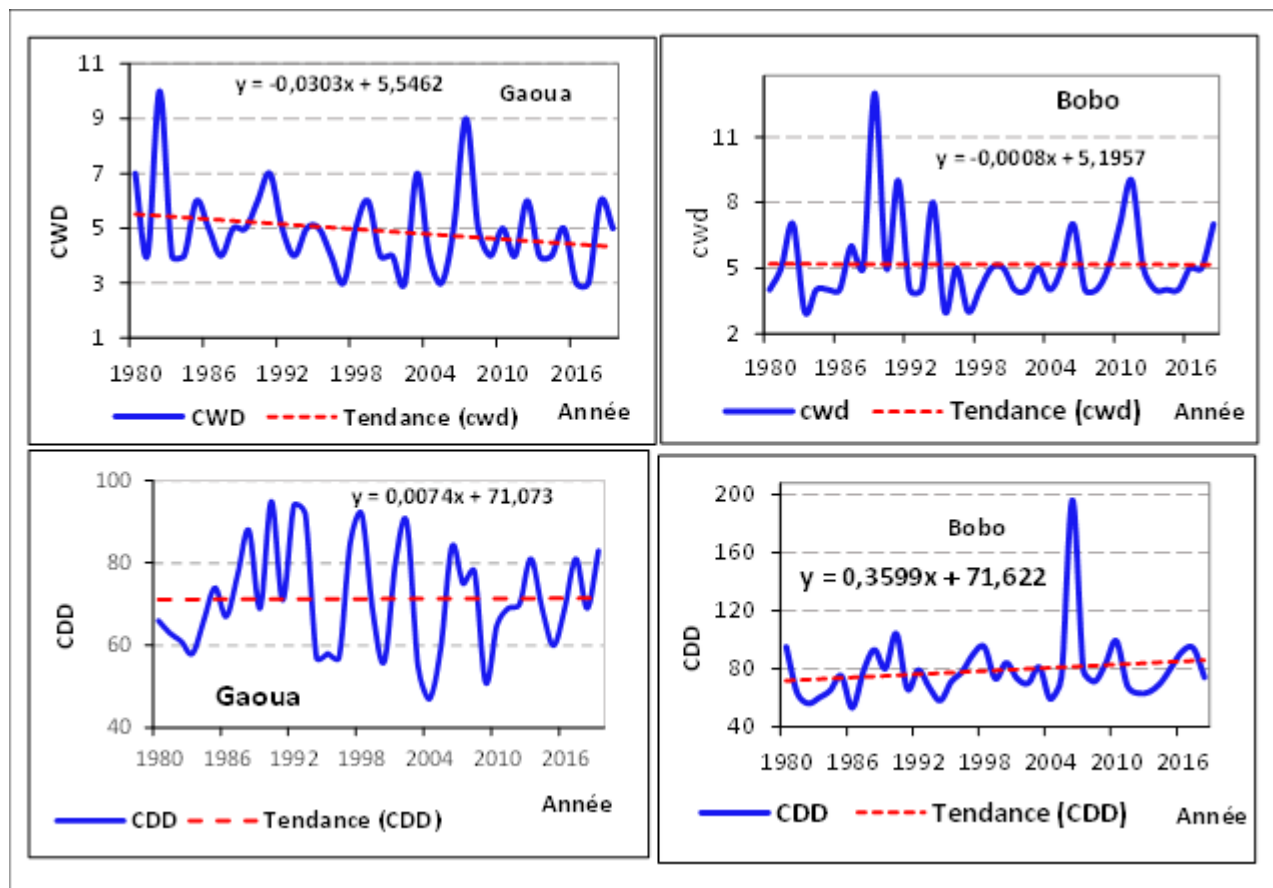


Fig.5 : indice du nombre maximal de jours pluvieux et secs consecutifs

Source : ANAM 2020

L'indice CWD détermine le nombre maximal des jours pluvieux consécutifs. La pente négative des droites de tendance des courbes indique une baisse bien que faible de cet indice sur la période d'étude. Ses valeurs ont varié entre 3 et 13 jours dans le secteur d'étude. A Gaoua, le plus grand nombre de jours consécutivement humides est observé en 1991 et 2003 avec 7 jours. A Bobo, les valeurs ont varié entre 13 jours en 1989 et 3 jours en 1983, 1995 et 1997. L'indice CDD matérialise quant à lui le nombre maximal des jours secs consécutifs. La droite de tendance montre une hausse de cet indice à la station de Gaoua et de Bobo-Dioulasso. Le plus grand nombre de jours consécutivement secs à Gaoua au cours de la période d'étude est de 92 et est observé en 1993 ; tandis que le plus petit nombre qui est de 47 est observé en 2004. A Bobo-Dioulasso, le plus grand nombre de jours consécutivement secs est de 196, enregistré en 2006 et, le plus petit nombre qui est de 53 est observé en 1986. Ainsi, le secteur d'étude connaît une augmentation du nombre de séquences sèches et une baisse du nombre de jours de séquences pluvieuses. Cet état de fait témoigne également d'un rallongement de la saison sèche au détriment de celle pluvieuse qui se raccourcit dans cette partie du pays.

Tendances et probabilité d'occurrence des pluies extrêmes : -

➤ Recherche de rupture et de la significativité des tendances des pluies extrêmes : -

La recherche de rupture consiste à vérifier s'il y a eu, ou pas des ruptures de stationnarité à la hausse ou à la baisse dans une série de données. Quant au test de tendance, il permet d'examiner la présence ou l'absence d'une tendance linéaire dans une chronologie de données et d'en évaluer le degré de significativité. Les résultats de ces tests appliqués aux séries constituées sont synthétisés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Synthèse des résultats des tests statistiques d'homogénéité des séries étudiées

Identification			Tests d'homogénéité		Tests de tendance
Stations	Indices	Période	Pettitt : année de rupture		Mann-Kendall : Significativité de la tendance
Station météorologique de Gaoua	SDII	1980-2019	Neant		*(+)
	Rx1day	1970 -2019	Neant		*(-)
	Rx3day	1980 -2019	Neant		*(+)
	PRCPTOT	1980 -2019	Neant		*(+)
	R95p	1980 -2019	Neant		*(+)
	R99p	1980 -2019	Neant		*(+)
Station météorologique de Bobo	SDII	1980 -2019	Neant		*(-)
	Rx1day	1970 -2019	Neant		*(+)
	Rx3day	1980 -2019	Neant		*(-)
	PRCPTOT	1980 -2019	Neant		*(+)
	R95p	1980 -2019	Neant		*(+)
	R99p	1980 -2019	Neant		*(+)

Source : ANAM 2020 ; NB : (*) : pas de tendance ; (**) : tendance significative ; (+) : hausse ; (-) : baisse

Les résultats des tests montrent une absence de rupture dans les séries de données analysées. En clair, aucune série des indices n'a enregistré une rupture de stationnarité sur la période d'étude. Aussi, aucun indice n'a connu une tendance significative à la hausse ou à la baisse. Après l'analyse de l'intensité et de la fréquence des fortes pluies, leur mode de dispersion temporelle est abordée dans la section suivante.

➤ Mode de distribution temporelle des pluies extrêmes :-

L'analyse fréquentielle à travers le modèle Gumbel permet de déterminer les probabilités d'occurrence et les périodes de retour des événements extrêmes. Le test montre que les pluies journalières maximales par an des stations de Gaoua et de Bobo s'ajustent bien à la loi de Gumbel (fig.6). Le test d'adéquation du χ^2 est validé au seuil de signification de 5% avec une p-value de 0,3675 à la station de Gaoua et, de 0,1351 à Bobo-Dioulasso.

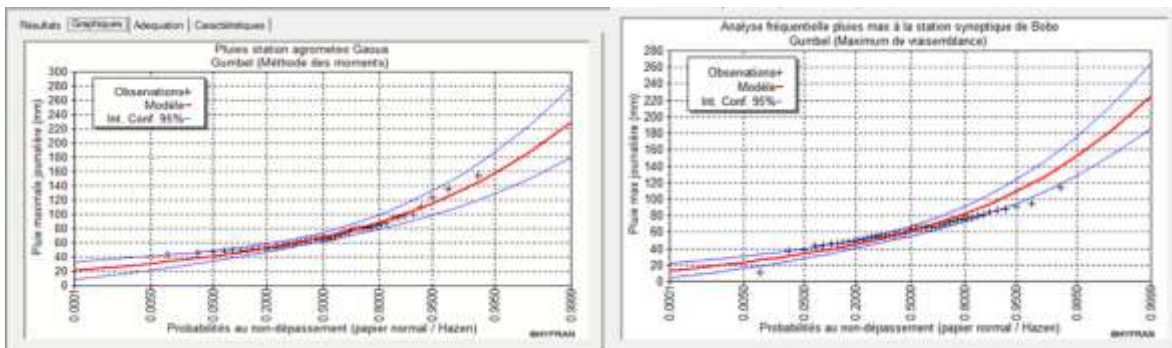


Fig. 6 : Ajustement des pluies journalières maximales à la loi de Gumbel Gaoua et Bobo (1970- 2019)

Source : ANAM, 2020

La loi de Gumbel peut alors être utilisée pour estimer les probabilités d'apparition et les périodes de retour des pluies extrêmes. Les pluies journalières très fortes qui sont de l'ordre de plus de 38,80 mm à Bobo, et de 40 mm et plus à Gaoua ont la possibilité de survenir chaque année. Entre 1980 et 2019, 55% de ces pluies ont été enregistrées entre juillet et août à Gaoua. A Bobo, environ 80 % de ces pluies sont survenues entre août et septembre. Quant aux pluies journalières extrêmement fortes, qui sont celles supérieures ou égales à 63,5 mm à Bobo-Dioulasso et, 65 mm à Gaoua, elles ont une période estimative de retour de 02 ans.

Discussion : -

Les résultats obtenus des analyses montrent des tendances non significatives des différents indices de pluies extrêmes sur la période d'étude (1980-2019). Aussi, aucun de ces indices n'a enregistré une rupture de stationnarité sur cette période. Les indices relatifs à la fréquence des fortes pluies affichent tous une tendance non significative à la hausse. Ces augmentations très faibles sont de 0,05 jours et 0,02 jours par an pour les jours très humides (R95p) au niveau des stations de Gaoua et de Bobo-Dioulasso respectivement ; et de 0,02 jours et 0,003 jours par an pour les jours extrêmement humides (R99p). Quant aux indices relatifs à l'intensité, l'on note une évolution disparate d'un indice à l'autre et selon les stations. Pendant que les pluies journalières maximales annuelles, exprimant l'intensité journalière des pluies, connaissent une faible augmentation de 0,19 mm/an à Bobo-Dioulasso, à la station de Gaoua dans, c'est une baisse qui est notée. Par contre, la lame d'eau précipitée par jour de pluie, ainsi que le cumul maximum de trois jours consécutifs de pluie, exprimant également l'intensité des pluies, affichent tous une tendance à la baisse à Bobo-Dioulasso, et une tendance à la hausse à Gaoua. Les conditions moyennes de pluviométrie exprimées par l'indice des totaux annuels de pluie affichent une tendance non significative à la hausse au niveau des deux stations. Toutefois, cette tendance est plus forte à Gaoua qu'à Bobo-Dioulasso.

Au regard de ces résultats, l'on doit retenir que la fréquence des fortes pluies tendent à la hausse dans le domaine climatique sud-soudanien à l'Ouest du Burkina Faso. Aussi, les disparités constatées dans la direction de l'évolution de la fréquence et de l'intensité des fortes pluies montrent que ces phénomènes extrêmes, tout comme d'autres variables pluviométriques, connaissent également une variabilité spatiale. Ces résultats sur la fréquence des fortes pluies sont en accords avec ceux de LAME (2012). En effet, analysant 10 indices pluviométriques caractéristiques de fréquence et de l'intensité des fortes pluies, l'auteur montre, qu'aucun de ces variables ne présente une tendance significative sur la période 1980-2010 à la station de Bobo-Dioulasso et de Gaoua. En effet, pour ce qui concerne les fréquences, l'auteur a mis en évidence une tendance non significative à la hausse des jours très humides dans deux des trois stations météorologiques les plus suivies et les plus représentatives du domaine sud-soudanien du pays, à savoir celles de Gaoua et de Pô. A la station de Bobo-Dioulasso par contre, c'est une tendance à la baisse qui a été révélée. A contrario, Kagambega (2021), analysant la fréquence des pluies extrêmes sur la période 1985-2017 met en exergue une tendance à la hausse à la station de Bobo-Dioulasso. Pour leur part, Koala et al. (2023), ont montré une légère tendance à la baisse de cette variable sur la période 1988-2017 à la station de Pô située dans le domaine climatique sud-soudanien du pas. Au niveau des stations de Ouagadougou et de Ouahigouya dans les domaines nord-soudanien et sahélien respectivement, Koala. et al. (idem) révèlent une tendance significative à la hausse de la fréquence des pluies extrêmes. S'agissant des jours extrêmement humides, LAME (2012) a mis en évidence une tendance à la baisse à la station Gaoua et de Bobo, ce qui est contradictoire aux résultats de cette étude. Toutefois, à la station de Pô, l'auteur signale une tendance à la hausse de cette variable sur la même période. Les analyses de Kagambega (2021) révèlent également une tendance à la baisse de la fréquence des pluies extrêmes à Bobo-Dioulasso sur la période de 1985-2017, tandis que sur la période 1988-2017, elle affiche une tendance à la hausse à Pô selon Koala et al. (2023). Cette tendance devient plus forte à la station de Ouagadougou et Ouahigouya situées dans les domaines nord-soudanien et sahélien respectivement. Vraisemblablement, ces disparités dans la tendance d'évolution de la fréquence des fortes pluies pourraient s'expliquer par la différence des périodes concernées par les analyses. En outre, il est clair que cette fréquence varie d'une station climatique à l'autre, d'un domaine climatique à l'autre, et parfois suivant l'indice d'extrême utilisé. Par ailleurs, la fréquence des fortes pluies journalières, au regard des travaux de plusieurs auteurs (Kabore et al., 2017 ; Koala et al., 2023) semble plus forte dans les domaines sahélien et nord-soudanien par rapport à celui sud-soudanien où est menée cette recherche. En effet, Kabore et al. (2017) indiquent que le regain pluviométrique en cours au Burkina Faso est plus prononcé dans la zone sahélienne que celui soudanien, soit +31,7 % contre +22,6 % ; et que ce regain pluviométrique est beaucoup plus lié à la hausse des fortes pluies journalières (Kabore et al., 2017). Quant à l'intensité de ces événements, elle connaît une hausse ou une baisse selon l'indice et la station considérée. La tendance à la hausse de l'intensité journalière de pluie à Bobo-Dioulasso révélée par les analyses dans cet article est également confirmée par Guelbéogo et al, (2023) sur la période de 1988 à 2018. Mais, sur la période 1980-2010, LAME (2012) a relevé une tendance à la baisse de cet indice à la station de Bobo-Dioulasso et de Gaoua. Evidemment, les nuances révélées dans l'évolution de l'intensité des fortes pluies par les analyses pourraient également s'expliquer par la différence des périodes considérées et des stations météorologiques concernée.

S'agissant du mode de distribution temporelle des pluies extrêmes, la modélisation statistique montre que les pluies très fortes (R95p : $P \geq 40$ mm à Gaoua, et $P \geq 38,80$ mm à Bobo-Dioulasso) ont une probabilité de survenir chaque année. Sur la série d'étude (1980-2019), 55% de ces types de pluies ont été enregistrées à Gaoua entre les mois de juillet et d'août. A la station de Bobo, environ 80 % de ces pluies ont été enregistrées entre les mois d'août et de

septembre. Quant aux pluies extrêmement fortes ($R99p : P \geq 65$ mm à Gaoua, et $P \geq 63,5$ mm à Bobo), elles ont une période de retour de 02 ans. Sur la série d'étude, 57% de ces types de pluies sont survenues entre juillet et août à Gaoua. Les pluies journalières rares et très rares de l'ordre de 132,5 mm et de 145,2 mm dont les périodes de retour sont respectivement de 50 ans et 100 y ont été également enregistrées. Des quantités de pluies journalières supérieures à ces valeurs, soient 135,64 mm et 154,4 mm ont déjà été enregistrées à Gaoua en 1991 et 1992 respectivement. A Bobo-Dioulasso, ces pluies extrêmement fortes sont plus ou moins dispersées tout au long de la saison pluvieuse. En effet, seulement 44% de ces pluies surviennent entre août et septembre, et le reste sur les autres mois de la saison pluvieuse. La plus forte valeur de pluie journalière à Bobo est de 114 mm et enregistrée en septembre 2015. De telles quantités de pluies journalières tombées dans cette zone induisent des risques d'inondation par stagnation d'une part, mais également une forte érosion, une destruction des cultures par les eaux de ruissellement d'autres part. Par ailleurs, tout porte à croire que ces pluies extrêmes sont plus fréquentes pendant la pleine saison pluvieuse (juin-septembre). Cet état de fait est mentionné par OUANDE (2021), dans la zone de Bobo-Dioulasso où il note que les pluies extrêmes, du moins celles supérieures à 45 mm surviennent autour de la première décade du mois de juin jusqu'à la première décade de septembre. Dans la zone de Bagré qui bénéficie d'un climat de type nord-soudanien YANOGO (2012) a rappelé que les pluies extrêmes étaient surtout fréquentes durant les mois de mai à septembre au cours de la période 1969-2008. Pour ce qui est de la durée des événements des pluies extrêmes, il ressort de façon globale que le secteur d'étude enregistre une augmentation du nombre de jours consécutivement sèches, une baisse du nombre de jours consécutivement pluvieuses et d'un rallongement des saisons sèches au détriment de celle pluvieuse.

Conclusion : -

Cette étude a eu pour objectif la caractérisation de l'évolution temporelle et le mode de d'occurrence des pluies extrêmes dans le domaine sud-soudanien à l'Ouest du Burkina Faso au cours de la période de 1980 à 2019. Elle a révélé globalement une tendance non significative à la hausse des indices caractéristiques de la fréquence des pluies maximales journalières, mais également de leur intensité. Ces pluies connaissent également une variabilité spatiale dans le domaine d'étude aussi bien dans leur intensité que dans leur fréquence. Ces types de pluies surviennent presque chaque année dans le secteur d'étude, et dans la majorité des cas, durant la pleine saison pluvieuse. Cette période correspond à différentes phases phénologiques de plusieurs plantes cultivées dans la zone (montaison, floraison, épiaison ou maturation), avec pour chaque plante, des besoins différents en eau. Ainsi, des pluies excessives au cours de cette période ne sauraient être sans dommages pour ces spéculations agricoles. L'étude met ainsi en exergue la nécessité de mettre en œuvre un système de prévision et de communication sur la survenance de ces événements dès le début de chaque hivernage afin d'aider les paysans à mieux planifier leurs activités agricoles.

Références Bibliographiques: -

1. Autorité du Bassin de la Volta- Organisation Météorologique Mondiale-Global Water Partnership, Initiative Volta GIC, (2016), Initiative Préparation de Projets de Mise en œuvre de la Gestion Intégrée des Crues –GIC- dans le bassin de la Volta et ses six pays riverains. Rapport d'étude, Initiative Volta GIC/RT.2/2016, 158 p.
2. CONASUR, (2009), Bilan des inondations du 1^{er} septembre 2009 a nos jours, CONASUR, Burkina Faso, (2009) 25 p.
3. GLZ (2021), Analyse des risques climatiques pour l'identification et la pondération des stratégies d'adaptation dans le secteur agricole du Burkina Faso, rapport d'étude, 170 p.
4. Faiza Hallouz, Mohamed M., Gil M., Hafsa Karahacane, Salah Eddine, Ali R. (2019), Tendances des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de changement climatique : bassin versant de l'oued Mina en Algérie. Revue des sciences de l'eau /Journal of Water Science, 32 (2), 83–114. <https://doi.org/10.7202/1065202ar>
5. GIEC, (2014), Changements climatiques 2014, Incidences, adaptation et vulnérabilité ; résumés, foire aux questions et encarts thématiques, contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 222 P.
6. Guelbéogo S., Ouédraogo L., Koala Suzanne, (2023), Manifestations et facteurs de risque d'inondation dans le bassin versant du kou, au Burkina Faso. International Journal of Science Academic Research, Vol. 04, Issue 11, November, 2023pp.6637-6643.
7. Institut National de Statistiques et de la Démographie (1985 ;2006 ; 2019), Cinquième recensement général de la population et de l'Habitation du Burkina Faso ; résultats définitifs et préliminaires.
8. Kaboré P.N., Ouédraogo A., Sanon M., Yaka P., Somé L. (2017), Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015. Climatologie, vol. 14, pp 82-95.

9. Kagambèga P. Z. (2021), Vulnérabilité des sols à l'érosion et les techniques et pratiques endogènes de lutte anti-rosive dans le bassin versant du Kou, Thèse de doctorat unique de géographie option : gestion des ressources naturelles, université Joseph KI-ZERBO, 244 p.
10. Koala Suzanne, Dipama J.M., Vissin E.W. (2023), Evolution of extreme rainfall and temperature indices in the nakambe watershed at the bagre outflow (Burkina Faso). International Journal of Advanced Engineering and Management Research Vol. 8, No.2;2023 pp 154-169.
11. KodjaD. J. (2018), Indicateurs des événements hydro-climatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'ouest, thèse de doctorat unique de géographie, spécialité, Sciences de la Terre et de l'Eau, université de Montpellier 288p.
12. Koudamiloro O. (2017), Vulnérabilité aux risques hydro-climatiques et stratégies d'adaptation des populations dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou (Benin), Thèse de doctorat unique de géographie option : gestion des ressources naturelles, université Ouaga 1 Pr Joseph KI-ZERBO, 274 p.
13. Laboratoire d'Analyses Mathématiques des Equations (2012), Elaboration du PANA Programmatiquedu Burkina Faso : Etudes de modélisation climatique, d'évaluation des risques et analyse de la vulnérabilité aux changements climatiques, rapport d'étude, 193 p
14. Meylan P., Musy A. (1999), Hydrologie fréquentielle, Bucarest, éditions *H*G*A*415p
15. Sanogo Fadima (2010), Systèmes de production sahéliens face aux changements climatiques, mémoire de master en géographie, gestion des ressources naturelles, université de Ouagadougou 104 p.
16. Sarr B., Traoré S. (2010), Impacts des changements climatiques sur quelques secteurs clés : impacts sur l'agriculture. Le Sahel face aux changements climatiques, enjeux pour un développement durable, Centre Régional Agrhymet, bulletin mensuel, Numero spécial Niamey Niger p 22-24.
17. Secrétariat Permanent du Conseil national pour l'Environnement et le Développement Durable (2010), Troisième rapport sur l'état de la végétation au Burkina Faso, 263p.
18. Tra bi Z. A. (2013), Etude de l'impact des activités anthropiques et de la variabilité climatique sur la végétation et les usages des sols, par utilisation de la télédétection et des statistiques agricoles, sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc). These pour l'obtention du diplôme de Doctorat d'Universite en Geographie ; Specialite : Geographie Physique Universite d'Artois/ Universite Felix Houphouët Boigny d'Abidjan, 192 p.
19. Ouandé M. (2021), Recomposition de l'espace hydroaménagé de la commune rurale de Bama (ouest du Burkina Faso) Thèse de doctorat unique de géographie option : aménagement du territoire, Université Joseph KI-ZERBO 415p.
20. Yanogo P. I. (2012), Les stratégies d'adaptation des populations aux aléas climatiques autour du Lac Bagré (Burkina Faso). Thèse de Doctorat Unique de Géographie Option : Gestion de l'Environnement, Spécialité : Géoscience de l'Environnement et Aménagement de l'espace, Université d'Abomey-Calavi, 254 p.