

1 **TENDANCE D'EVOLUTION ET MODE D'OCCURRENCE DES PLUIES EXTREMES DANS LE**  
2 **DOMAINE CLIMATIQUE SUD-SOUDANIEN A L'OUEST DU BURKINA FASO.**

6 **Abstract:**

8 Knowledge of the evolution and temporal distribution of extreme rainfall events in the southern Sudanian region  
9 to the west of Burkina Faso is of vital importance. This will help in decision-making to prevent the effects of the  
10 risks associated with these phenomena. The aim of this study is to characterise, through statistical and graphical  
11 analysis, the trends in the occurrence of extreme rainfall events that are likely to compromise the development of  
12 people's activities. The results show that some aspects of these rainfall extremes are declining while others are  
13 increasing. The frequency indices for these types of rainfall all show a non-significant upward trend, and are  
14 homogeneous over the study period (1980-2019) at the used stations. As for rainfall intensity, it shows both a  
15 downward and an upward trend, depending on the station and the index used. Very heavy daily rainfall of the  
16 order of 38.80 mm or more at Bobo, and 40 mm or more at Gaoua, can occur every year. Between 1980 and  
17 2019, 55% of these rains were recorded between July and August in Gaoua. In Bobo, around 80% of this rain fell  
18 between August and September. As for the extremely heavy rains which are greater than 68.80 mm and 65 mm  
19 at Bobo and Gaouya station respectively, they have a return period of 2 years. Over the study period, 57% of  
20 these types of rain occurred at Gaoua between July and August. At Bobo, 44% of these rains occurred between  
21 August and September. Extreme rainfall thus seems to be more frequent in the study area during the months of  
22 July, August and September, which are the rainiest months of the year. They arrive later in Bobo

25 **Key-words: -**

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

29 **Introduction : -**

30 Aujourd'hui, le réchauffement planétaire a conduit à la modification du régime de plusieurs  
31 paramètres climatiques, dont la pluviométrie et les températures. La perturbation de ces  
32 paramètres fondamentaux du climat a eu pour conséquence, l'apparition de plus en plus  
33 fréquents des phénomènes météorologiques extrêmes parmi lesquels les canicules, les  
34 sécheresses et les fortes pluies figurent en bonne place (Sarr, 2010 ; GIZ, 2021). Ces extrêmes  
35 météorologiques sont à l'origine de plus de 80 à 90 % des catastrophes naturelles qui  
36 surviennent à la surface de la Terre ces dernières décennies (OMM, 2006). Aujourd'hui, le  
37 nombre des catastrophes liées à ces extrêmes a connu une augmentation fulgurante, passant de  
38 195 en moyenne entre 1987 et 1998, à 365 entre 2000 et 2006 (Sanogo, 2010). En Afrique,  
39 l'une des régions la plus exposée et la plus vulnérable aux impacts des changements  
40 climatiques (GIEC, 2014), une recrudescence des phénomènes pluviométriques extrêmes  
41 conduisant à des inondations désastreuses a été observée ces dernières décennies. L'Afrique de  
42 l'Ouest n'est pas en marge de ces événements. Une hausse exponentielle du nombre  
43 d'inondations consécutives à des fortes pluies y est notée (Sarr, 2010; Adjakpaet *al.*, 2016). Ce  
44 nombre est passé à moins de 2 par an avant 1990, à plus de 8 voire 12 en moyenne par an au  
45 cours des années 2000 (Sarr B. 2010, p.9). A l'instar des autres pays de la région, le Burkina

46 Faso fait face au dérèglement du régime pluviométrique avec son corolaire des pluies extrêmes  
47 de plus en plus fréquente. Selon SP/CONNED (2010), les catastrophes naturelles les plus  
48 fréquentes au Burkina Faso ces dernières décennies sont liées soient aux inondations  
49 occasionnées par les pluies diluviennes, soient aux sécheresses. Pour ABV-OMM-GWP  
50 Initiative Volta GIC(2016), les inondations liées aux pluies extrêmes détiennent le palmarès  
51 en termes de dommages causés par les catastrophes naturelles dans ce pays. L'exemple des  
52 inondationsexceptionnelles de septembre 2009, suite à la pluie diluvienne qui s'est abattue sur  
53 presque toute l'étendue du territoire national (SP/CONNED, 2010) illustrent à souhait ces  
54 affirmations. Ces inondations qui ont touché 11 des 13 régions du pays ont entraîné la  
55 submersion de plus de 9300 hectares de cultures sur l'ensemble du pays, et la destruction de  
56 plusieurs ouvrages d'art (Sarr, 2010). Elles ont occasionné 9 décès et environ 220 000 sinistrés  
57 dont 150 000 dans la capitale burkinabè (CONASUR, 2009). Au regard de ces statistiques, les  
58 fortes pluies constituent une entrave au développement des activités économiques et au bien-  
59 être des populations, et par ricochet au développement économique du pays. Ainsi, la  
60 connaissance du mode de dispersion temporelle des pluies extrêmes pourrait aider dans la  
61 planification de la prévention et de l'adaptation aux risques d'inondation par les populations. Or,  
62 les travaux de recherche sur ces phénomènes au Burkina Faso, et dans le domaine climatique  
63 sud-soudanien en particulier sont peu fournis. Le peu d'études réalisées sur ce sujet se sont  
64 surtout intéressées à l'évolution temporelle de ces phénomènes. Leur mode d'occurrence n'est  
65 pratiquement pas abordée. Fort de ce constat, cet article est initié pour mener la réflexion  
66 sur l'évolution et le mode d'occurrence des extrêmes pluviométriques dans le domaine  
67 climatique sud-soudanien à l'ouest du Burkina Faso. En effet, étant le domaine climatique du  
68 pays qui reçoit les plus fortes quantités de pluies, et également une zone de production  
69 agricole par excellence, les risques d'inondations liées aux pluies extrêmes y sont plus élevés  
70 et redoutés. L'objectif de l'étude est de caractériser d'une part la tendance  
71 d'évolution temporelle des pluies extrêmes, et d'autre part leur mode d'occurrence dans cette  
72 partie du pays.

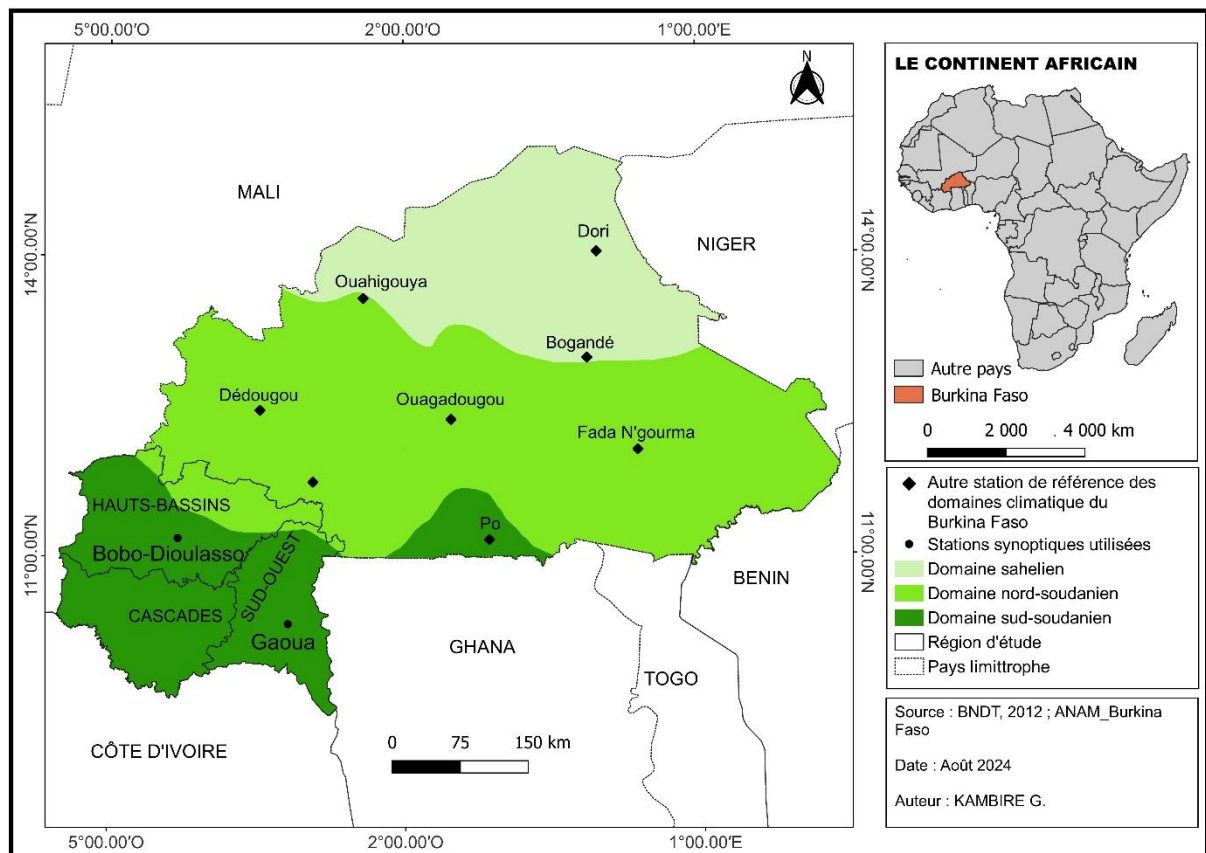
73

#### 74 **Données et méthodes : -**

#### 75 **Cadre géographique de l'étude :-**

76 Cette étude est menée dans la zone Ouest du Burkina Faso. La zone géographique visée  
77 regroupe 03 régions administratives du pays que sont les Hauts-Bassins, le Sud-ouest et les  
78 Cascades. Ces régions sont les seules du pays à nos jours, à l'exception des Hauts bassins  
79 dont une petite partie au Nord-est connaît un climat nord-soudanien, à être entièrement  
80 couvertes par le domaine climatique sud-soudanien (fig.1). Selon le recensement général de la  
81 population de de l'habitat de 2019, cette zone s'étend sur une superficie d'environ 60 436 km<sup>2</sup>  
82 (INSD, 2019). Bénéficiant d'un climat de type soudanien, elle enregistre des températures  
83 moyennes annuelles généralement situées entre 27 °C et 29°C. Les cumuls pluviométriques  
84 annuels vont de 900 mm à plus de 1100 mm, avec une saison des pluies qui s'étale sur 6 à 7  
85 mois (GIZ, 2021). Cette zone dispose d'une gamme variée de sols comprenant entre autres,  
86 les sols hydromorphes et bruns eutrophes, les sols à sesquioxydes à matières organiques, les  
87 sols ferrugineux tropicaux peu lessivés ou lessivés, les sols ferrallitiques, les lithosols et les  
88 sols peu évolués d'érosion. Dans l'ensemble, ces sols présentent des potentialités  
89 agronomiques appréciables et sont aptes à la culture des principales céréales (le sorgho, le  
90 mil, le maïs, le riz, le niébé), base de l'alimentation des populations. Ce sont des sols qui sont  
91 également propices aux cultures de rente telles que le coton, le sésame et l'arachide. Toutes  
92 ces potentialités font de cette partie du Burkina une importante zone agricole que GIZ (idem)  
93 a désignée par périphrase « grenier à grains » du Burkina Faso. L'agriculture y est la  
94 principale activité économique des populations. Le secteur d'étude est drainé par de

95 nombreux cours d'eau dont le Kou, la Comoé, la Léraba, le Poni, le Mouhoun, qui  
96 connaissent des périodes de crues occasionnant des inondations désastreuses lorsque  
97 surviennent des pluies extrêmes.



98

99

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

100 **Données utilisées : -**

101 Pour l'analyse, les données des stations synoptiques de Gaoua et de Bobo-Dioulasso ont été  
102 utilisées. Ces données au pas de temps journaliers couvrent la période de 1980 à 2019, soit une  
103 période de quarante (40) ans. Toutefois, pour l'analyse fréquentielle en vue de mettre en  
104 évidence le mode d'occurrence des fortes pluies, une longue série allant de 1970 à 2019 (soit  
105 50 ans) a été utilisée. En effet, pour analyser la fréquence des précipitations extrêmes, une  
106 période d'une période de 40 à 50 ans est en général satisfaisante dans les régions où il y a une  
107 fluctuation périodique très nette des précipitations (Sevruk, 1981) cité par Meylanal., (1999).  
108 Les données utilisées ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie  
109 (ANAM).

110

111 **Traitement des données : -**

112 Les extrêmes climatiques sont généralement définis par leur intensité, leur fréquence et leur  
113 durée. Ainsi, la caractérisation des extrêmes pluviométriques dans cette étude a-t-elle consisté  
114 d'une part, à la caractérisation de l'évolution linéaire de leur intensité, leur fréquence et leur  
115 durée, et d'autre part, à la détermination du mode d'occurrence de ces phénomènes. Pour ce  
116 faire, deux méthodes d'analyse ont été utilisées. L'une graphique et l'autre statistique. Afin de  
117 caractériser la tendance d'évolution de ces extrêmes, des indices recommandés par l'Expert

118 Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) pour l'étude des  
 119 extrêmes climatiques sont utilisés. Ces indices caractéristiques des phénomènes intenses ou  
 120 extrêmes, sont représentés graphiquement afin d'apprécier leur évolution temporelle. Cette  
 121 méthode graphique exploite la régression linéaire consistant en une représentation graphique  
 122 de type affine qui présente l'évolution linéaire d'une variable étudiée. L'équation de la droite  
 123 de tendance s'écrit comme suit :  $y = ax + b$  ;  $a$  est la pente ou taux de régression de la  
 124 variable étudiée, et  $b$  une constante. Si  $a > 0$ , on a une augmentation ; si  $a < 0$ , on a une  
 125 diminution.

126 Dans cette étude, huit indices ont été retenus pour l'analyse. A en croire GIZ (2021),  
 127 l'indicateur de l'intensité des fortes précipitations est la quantité de précipitations maximum  
 128 ( $P \geq 1$  mm) en une journée sur un an ; tandis que l'indicateur de leur fréquence peut être le  
 129 nombre de jours franchissant un certain seuil. Ainsi, certains indices ont été utilisés dans ce  
 130 travail pour caractériser l'intensité des fortes pluies et d'autres, pour leur fréquence et la durée  
 131 des événements pluviométriques extrêmes. Ce sont :

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

153  
 154 **Tableau 1 : Liste des indices utilisés dans l'analyse des événements pluviométriques extrêmes**  
 155

Identification	Nom de l'indice	Définition	Unité
<i>Indices d'intensité</i>			
<b>RX1day</b>	Pluie journalière maximale/an	Cumul maximal de pluie journalière/an	mm
<b>SDII</b>	Simple dayly intensity Index	Lame d'eau moyenne précipitée par Jour de pluie	mm/J
<b>Rx3day</b>	Cumul maximal de 3 jours pluvieux	Cumul maximal de 3 jours consécutifs de pluies	mm
<b>PRCPTOT</b>	Total annuel des pluies	Totaux annuels des précipitations	mm
<i>Indices de fréquence</i>			
<b>R95p</b>	Jours très pluvieux	Nombre de jours de pluie par an supérieur à la valeur de pluie du 95 <sup>e</sup> percentile	%
<b>R99p</b>	Jours extrêmement pluvieux	Nombre de jours de pluie par an supérieur à la valeur de pluie du 99 <sup>e</sup> percentile	%

<i>Indices de durée</i>			
<b>CDD</b>	Jours secs consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs sans pluie ( $P < 1$ mm)	Jours
<b>CWD</b>	Jours pluvieux consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec pluie ( $P \geq 1$ mm)	Jours

156  
157

Source : ANAM, 2020

158 La méthode graphique est complétée par l'analyse statistique. Elle a consisté d'une part, en  
159 l'application de tests de Pettitt et de Mann-Kendall aux séries des extrêmes pluviométriques  
160 constituées, et en l'analyse fréquentielle des pluies journalières maximales d'autre part. Le test  
161 de Pettitt vise à rechercher une éventuelle rupture de stationnarité dans ces séries ; tandis que  
162 le test non paramétrique de Mann-Kendall a pour but d'étudier le degré de significativité des  
163 tendances d'évolution. Le choix de ces tests se justifie non seulement par leur aptitude à  
164 détecter les ruptures ou les tendances, mais également leur utilisation courante pour ces types  
165 d'analyse. Dans le test de Pettitt, l'hypothèse nulle  $H_0$  testée est : « il n'y a pas de rupture ».   
166 Lorsque l'hypothèse nulle est acceptée, on déduit qu'il n'y a pas de rupture dans la série ( $X_i$ )  
167 de taille  $N$ . Au cas contraire, la contre-hypothèse (présence de rupture) est acceptée et une date  
168 de rupture est proposée. Le test non-paramétrique de Mann-Kendall permet à son tour  
169 d'évaluer le degré de significativité d'une tendance. Dans ce test, trois (03) statistiques  
170 importantes sont générées : la statistique  $S$ , le tau ou coefficient des rangs de Kendall et la  $p$ -  
171 value ou variable réduite. L'hypothèse  $H_0$  testée est qu'il n'y a pas de tendance. Si la  $p$ -value  
172 est inférieure au niveau de significativité  $\alpha$  choisi ( $p < \alpha$ ), l'hypothèse  $H_0$  est rejetée et on  
173 conclut à l'existence d'une tendance significative au seuil choisi (il est de 5% dans cette  
174 étude). La statistique  $S$  de Kendall représente un solde qui, lorsqu'il est positif, indique une  
175 évolution temporelle à la hausse du phénomène étudié : et lorsqu'il est négatif, indique une  
176 baisse du phénomène (Tra bi, 2013). Le logiciel XLSTAT version 2022 a été utilisé pour la  
177 réalisation de ces tests.

178 Quant à l'analyse fréquentielle, elle a été mobilisée pour étudier les probabilités d'occurrence  
179 des pluies extrêmes. L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant  
180 à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus pluviométrique ou  
181 hydrologique donné, afin d'en définir les probabilités d'apparition future. Elle repose sur la  
182 définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation mathématique  
183 décrivant le comportement statistique d'une variable (les pluies journalières maximales par an  
184 sont ici concernées) par le biais de sa fonction de répartition (Meylan P. et al., 1999 p.12).  
185 Dans cette étude, le modèle de Gumbel a été utilisé. Ce modèle est réputé mieux ajuster les  
186 événements extrêmes journaliers, surtout dans le domaine soudanien (Kodja D. J., 2018  
187 p.173). La fonction de répartition de la loi de Gumbel  $F(x)$  s'exprime de la manière suivante :

188  $F(x) = \exp(-\exp(-\frac{x-a}{b}))$  ; avec  $\frac{x-a}{b} = u$ ,  $u$  étant la variable réduite de Gumbel. Ainsi,  $a$  et  
189  $b$  sont les paramètres de Gumbel avec  $a$  est le paramètre de position appelé mode (l'ordonné à  
190 l'origine,  $u = 0$ ) et  $b$  le paramètre d'échelle appelé gradex (Gradient exponentiel des valeurs  
191 extrêmes) et  $x$ , la variable étudiée (les hauteurs de pluie journalières maximales dans cette  
192 étude). Par simplification, la fonction de répartition de la loi de Gumbel s'écrit alors de la  
193 manière suivante :

194

195

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

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

203

204

205 Où  $m$  est le rang des observations (classées par ordre croissant);  $n$  est la taille de  
206 l'échantillon et  $0.5$  la constante de la formule de Hazen;  $x_{[m]}$  est la valeur de rang  
207  $m$  dans l'ordre des valeurs classées de façon croissante.

208 Après l'ajustement par la loi de Gumbel, plusieurs quantiles (hauteurs de pluies journalières)  
209 et leur période de retour peuvent être estimés. Et, cela avec pour but de déterminer les  
210 périodes de retour des événements pluvieux extrêmes à la qui sont à l'origine des inondations  
211 dévastatrices. Le temps de retour ( $T$ ) d'un événement caractérise le temps statistique entre  
212 deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. Il est également  
213 défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement et est obtenue par la  
214 formule suivante :

215

216

217

218

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

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

225

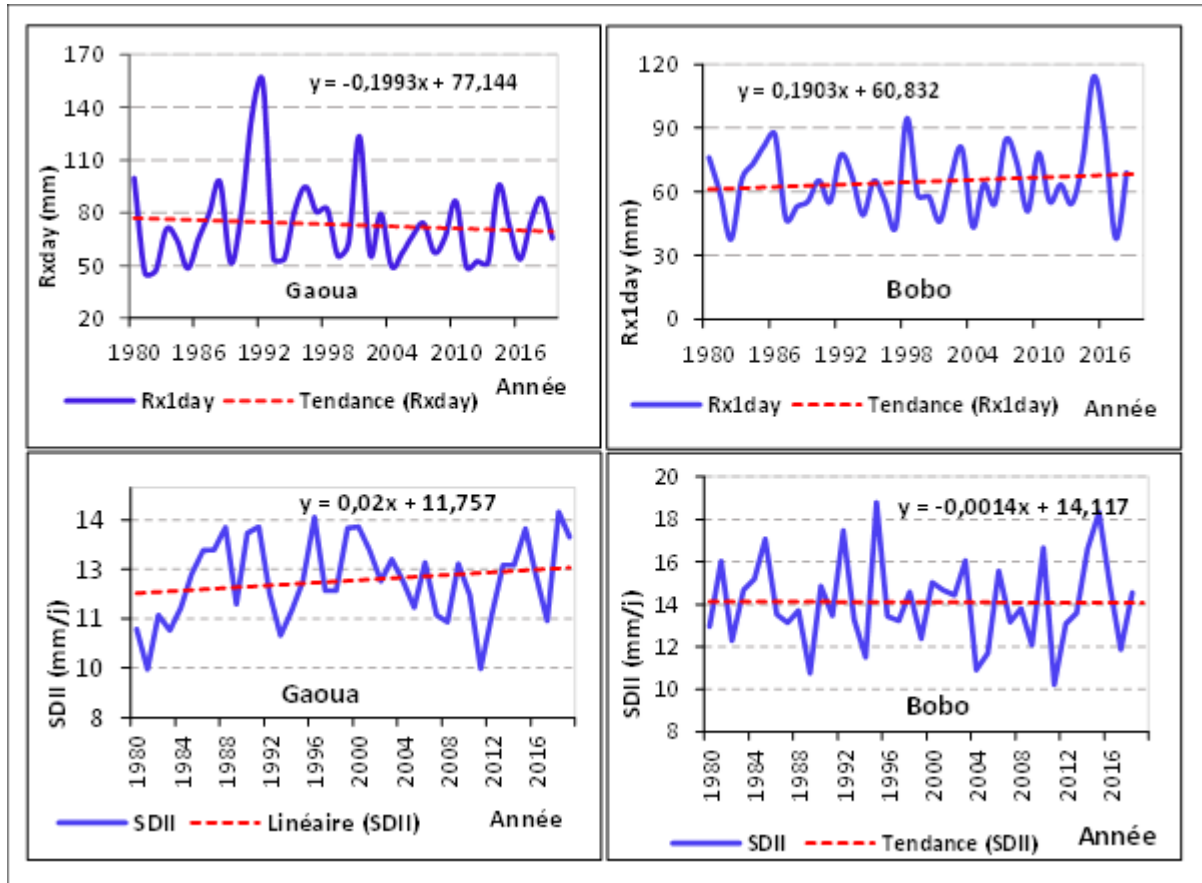
226 **Résultats : -**

227 **Tendance d'évolution des pluies extrêmes : -**

228 ➤ Évolution des indices de l'intensité des fortes pluies : -

229 La figure 2 montre la quantité de pluies journalières maximales sur une année et la lame d'eau  
230 moyenne précipitée par jour de pluie aux stations synoptiques de Bobo-Dioulasso et de  
231 Gaoua. Chacun des deux indices caractérisent l'intensité des fortes pluies (GIZ, 2021).

232



233

234

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

235

Source : ANAM 2021

236

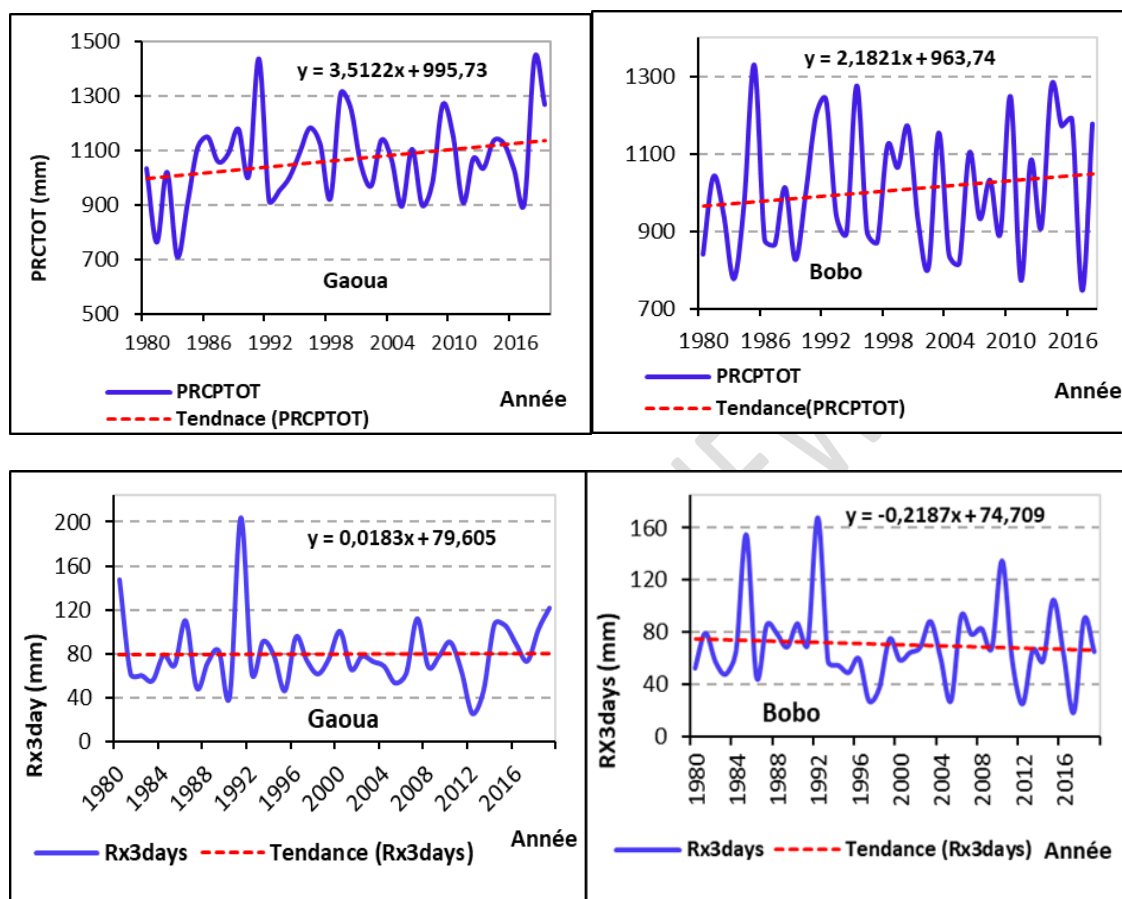
237 L'analyse de la figure 2 montre deux situations inverses dans la tendance  
238 d'évolution de chacun de ces indices d'intensité de pluie au niveau des deux (02) stations  
239 climatologiques. En effet, à la station de Gaoua, la courbe montre une tendance à la baisse de  
240 l'indice de l'intensité journalière des pluies (Rx1day), tandis que leur intensité moyenne  
241 (SDII) affiche une tendance à la hausse. Ce résultat signifie en gros qu'il y a eu, sur la période  
242 d'étude, de moins en moins de fortes pluies journalières à Gaoua. A la station de Bobo-  
243 Dioulasso, c'est la situation inverse qui est présentée : l'intensité journalière des pluies donnée  
244 par les pluies journalières maximales par an (Rx1day) montre une tendance à la hausse,  
245 pendant que l'intensité moyenne (la lame d'eau de pluie précipitée par jour) affiche une très  
246 légère baisse. Cela signifierait qu'il y a eu, sur la période d'étude, de plus en plus de fortes  
247 pluies journalières dans la zone de Bobo. L'intensité journalière des pluies y a augmenté de  
248 0,19mm/an, soit de 7,6mm/an sur les 40 ans. Par contre, à la station de Gaoua, cette même  
249 variable a baissé dans la même proportion que la hausse notée à Bobo. Quant à la lame d'eau  
250 de pluie précipitée par jour, elle croît de 0,02mm/J par an à Gaoua tandis qu'à Bobo, elle est  
251 quasi-stationnaire avec néanmoins une pente négative.

252

253

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

254 L'indice du cumul maximal de trois jours consécutifs contribue à la caractérisation de  
 255 l'intensité des pluies dans une zone donnée. Quant à l'indice des totaux annuels des pluies, il  
 256 renseigne sur les conditions moyennes de pluviométrie permettant ainsi d'apprécier l'intensité  
 257 annuelle des pluies. Ces indices sont alors utilisés pour renforcer l'analyse de l'intensité des  
 258 pluies ainsi que des conditions moyennes des pluies et à la station de Bobo et de Gaoua  
 259 (fig.3). La figure 3 montre l'évolution des indices des totaux annuels et du cumul maximal de  
 260 trois jours consécutifs de pluies.  
 261



262  
263

264

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

266 *Source : ANAM 2021*

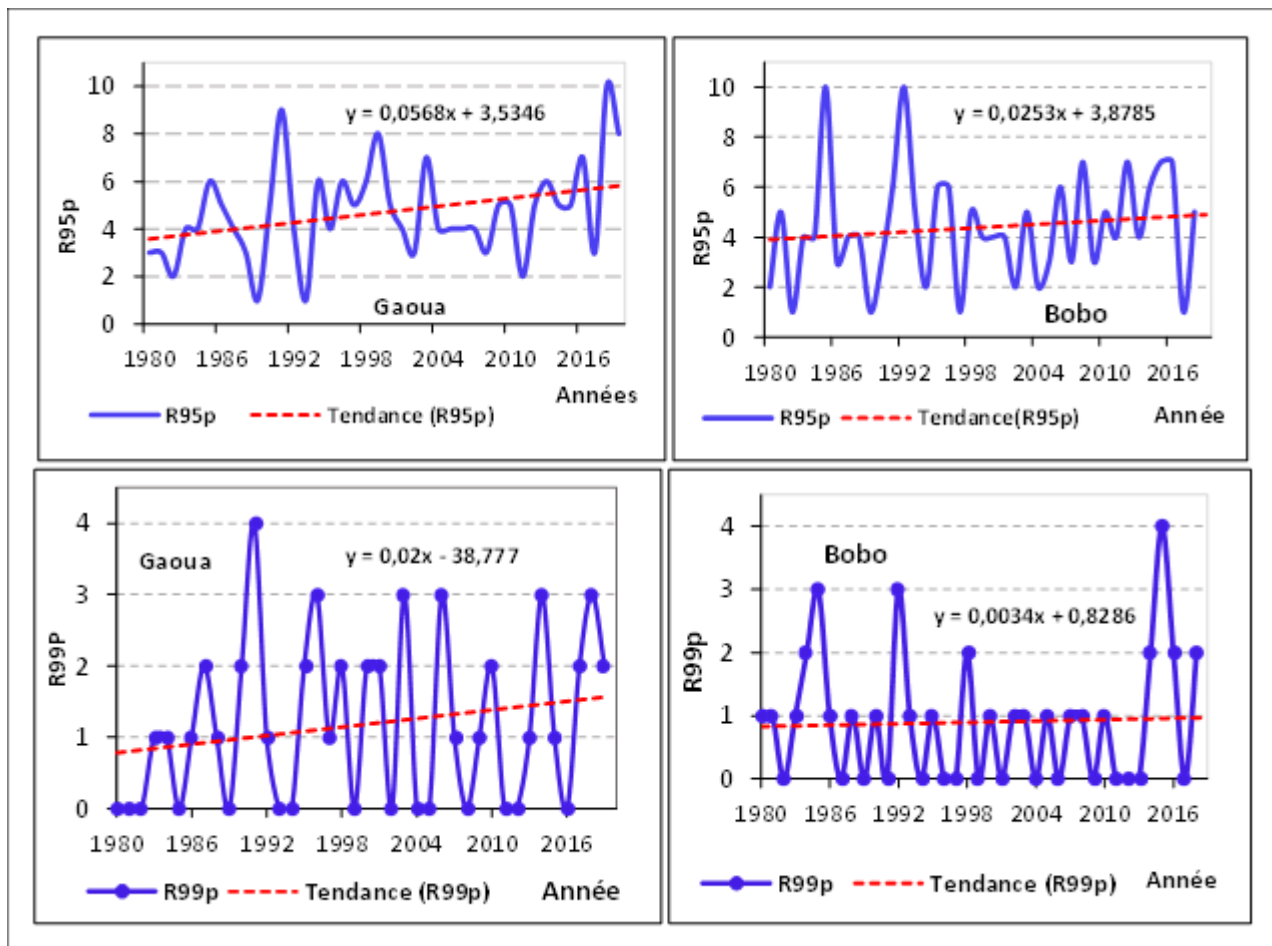
268 Sur la figure 3, les courbes montrent des pentes positives des indices des totaux annuels de  
 269 pluies au niveau des stations de Gaoua et de Bobo-Dioulasso ; ce qui signifie qu'il y a eu une  
 270 tendance à la hausse des cumuls pluviométriques annuels sur la période d'étude au niveau de  
 271 ces deux stations. Ces hausses sont de 3,51mm/an à Gaoua et 2,18mm/an à Bobo-Dioulasso. Sur  
 272 la période d'étude (1980-2019), la pluviométrie a donc augmenté de 140,4 mm à Gaoua et de  
 273 87,2mm à Bobo-Dioulasso. Quant au cumul maximal de trois jours consécutifs de pluies, il a  
 274 augmenté de 0,018mm/an à Gaoua et baissé de 0,21mm/an à Bobo-Dioulasso. Outre  
 275 l'intensité et les conditions moyennes de pluviométrie, la fréquence des pluies extrêmes dans  
 276 la zone d'étude est analysée.

277  
278

- Evolution des indices de fréquence des fortes pluies : -

279 Afin d'apprécier la fréquence des fortes pluies dans la zone d'étude, le nombre de jours ayant  
 280 enregistré une hauteur de pluie supérieure au 95<sup>e</sup> et 99<sup>e</sup> percentile sur la série d'étude est

281 analysé. Ces indices caractérisent respectivement le nombre de jours très humides (pluies très  
 282 fortes aussi appelées pluies intenses) et extrêmement humides (pluies extrêmement fortes  
 283 encore qualifiées de pluies extrêmes). La figure 4 présente l'évolution de ces indices dans les  
 284 deux stations au cours de la période 1980 à 2019.  
 285  
 286



287  
 288  
 289 **Fig.4 : Indice de jours très humides et extrêmement humides**

290 *Source : ANAM, 2020*

291  
 292 La figure 4 montre une tendance à la hausse du nombre de jours très humides et extrêmement  
 293 humides aux stations de Bobo-Dioulasso et de Gaoua. Contrairement à l'intensité des fortes  
 294 pluies qui évoluent en sens inverse au niveau de ces deux stations, leur fréquence évolue dans  
 295 la même direction. Bien que les pentes des droites de tendance soient faibles, ce résultat  
 296 indique tout de même que les fortes pluies (les pluies très fortes et extrêmement fortes) sont  
 297 de plus en plus fréquentes dans le secteur d'étude au cours de la période 1980-2019.  
 298

299 ➤ Evolution des indices de durée : -

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

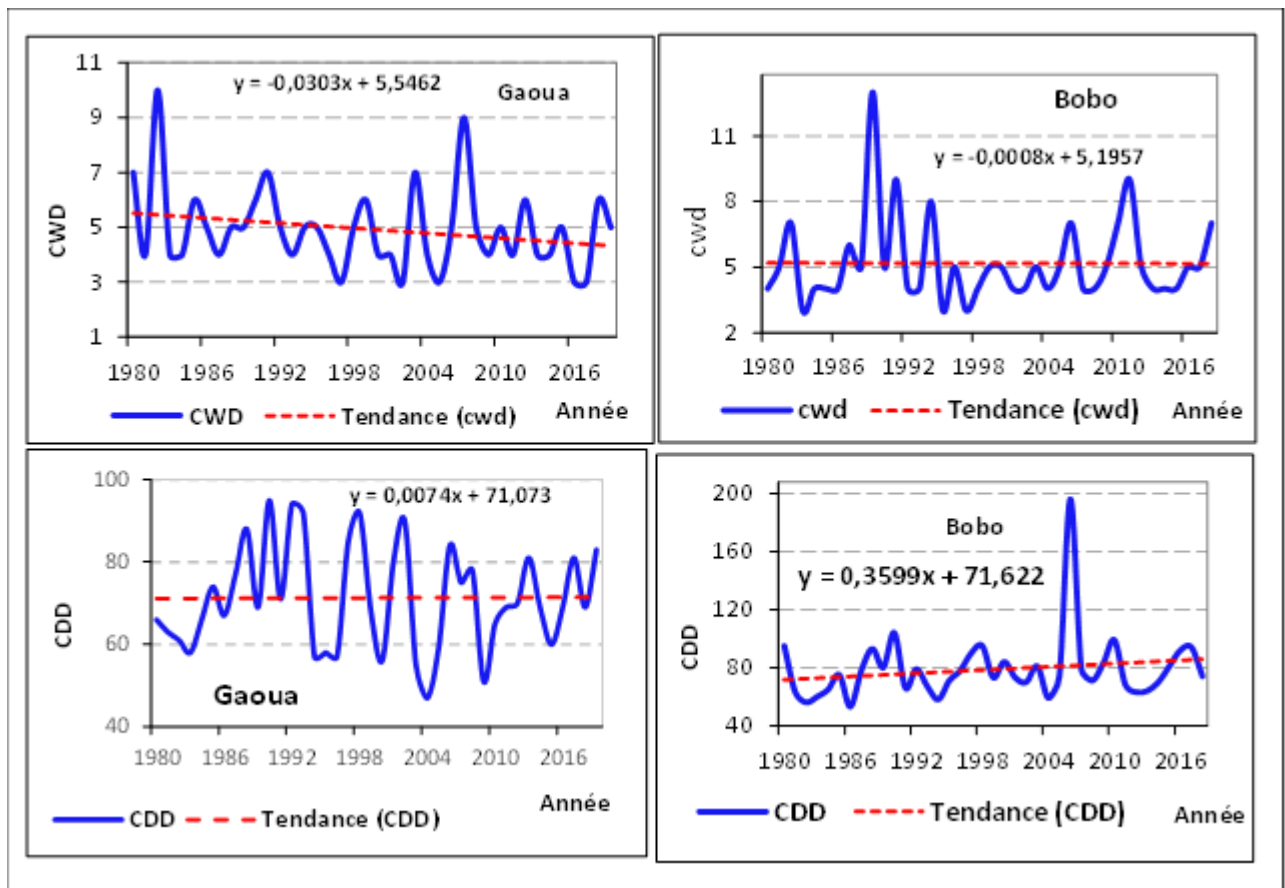


Fig.5 : indice du nombre maximal de jours pluvieux et secs consécutifs

Source : ANAM 2020

304  
305  
306  
307

308 L'indice CWD détermine le nombre maximal des jours pluvieux consécutifs. La pente  
309 négative des droites de tendance des courbes indique une baisse bien que faible de cet indice  
310 sur la période d'étude. Ses valeurs ont varié entre 3 et 13 jours dans le secteur d'étude. A  
311 Gaoua, le plus grand nombre de jours consécutivement humides est observé en 1991 et 2003  
312 avec 7 jours. A Bobo, les valeurs ont varié entre 13 jours en 1989 et 3 jours en 1983, 1995 et  
313 1997. L'indice CDD matérialise quant à lui le nombre maximal des jours secs consécutifs. La  
314 droite de tendance montre une hausse de cet indice à la station de Gaoua et de Bobo-  
315 Dioulasso. Le plus grand nombre de jours consécutivement secs à Gaoua au cours de la  
316 période d'étude est de 92 et est observé en 1993 ; tandis que le plus petit nombre qui est de 47  
317 est observé en 2004. A Bobo-Dioulasso, le plus grand nombre de jours consécutivement secs  
318 est de 196, enregistré en 2006 et le plus petit nombre, 53 est observé en 1986. Ainsi, le secteur  
319 d'étude connaît une augmentation du nombre des séquences sèches et une baisse du nombre de  
320 jours de séquences pluvieuses. Cet état de fait témoigne également d'un rallongement de la  
321 saison sèche au détriment de celle pluvieuse qui se raccourcit dans cette partie du pays.

322

323 **Tendances et probabilité d'occurrence des pluies extrêmes : -**

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

325 La recherche de rupture consiste à vérifier s'il y a eu ou pas des ruptures de stationnarité à  
326 l'augmentation ou à la diminution dans une série de données analysées. Quant au test de  
327 tendance, il permet d'examiner la présence ou l'absence d'une tendance linéaire dans une

328 chronologique de données et d'en évaluer le degré de significativité. Les résultats de ces tests  
 329 appliqués aux séries constituées sont synthétisés dans le tableau 2.

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

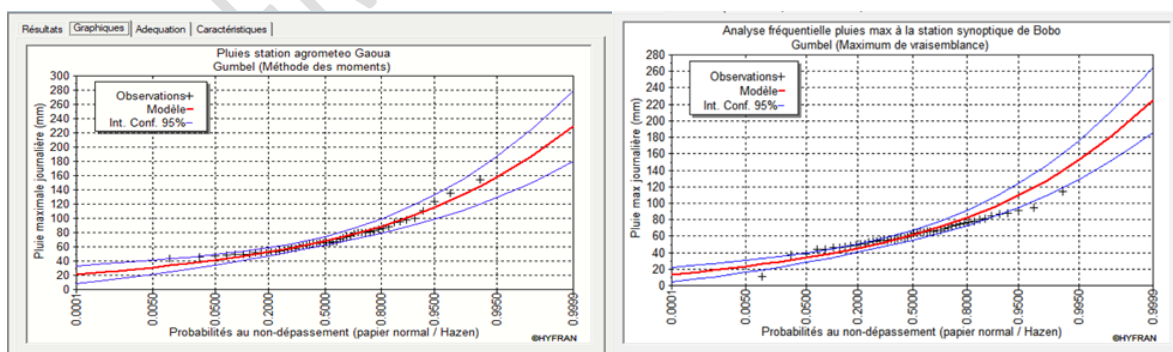
Identification			Tests d'homogénéité	Tests de tendance
Stations	Indices	Période	Pettitt : année de rupture	Mann-Kendall : Significativité de la tendance
Station synoptique de Gaoua	SDII	1980-2019	Néant	*(+)
	Rx1day	1970 -2019	Néant	*(-)
	Rx3day	1980 -2019	Néant	*(+)
	PRCPTOT	1980 -2019	Néant	*(+)
	R95p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

331  
 332 **Source : ANAM 2020 ; NB : (\*) : pas de tendance ; (\*\*) : tendance significative ; (+) : hausse ; (-) : baisse**  
 333

334 Les résultats des tests montrent une absence de rupture dans les séries de données analysées.  
 335 En clair, aucune série des indices n'a enregistré une rupture de stationnarité sur la période  
 336 d'étude. Aussi, aucun indice n'a connu une tendance significative à la hausse ou à la baisse  
 337 entre 1980 et 2019. Après l'analyse de l'intensité et de la fréquence des fortes pluies, leur  
 338 mode de dispersion temporelle est abordée dans la section suivante.

339  
 340 ➤ Mode de distribution temporelle des pluies extrêmes : -

341 L'analyse fréquentielle à travers le modèle Gumbel permet de déterminer les probabilités  
 342 d'occurrence et les périodes de retour des événements extrêmes. Le test montre que les pluies  
 343 journalières maximales par an des stations de Gaoua comme de Bobo s'ajustent bien à la loi  
 344 de Gumbel (fig.6). Le test d'adéquation du KHI<sup>2</sup> est validé au seuil de signification de 5% avec  
 345 une p-value de 0,3675 à la station de Gaoua et 0,1351 à Bobo.  
 346



347  
 348 **Fig. 6 : Ajustement des pluies journalières maximales à la loi de Gumbel Gaoua et Bobo (1970- 2019)**

349 *Source : ANAM, 2020*

350 La loi de Gumbel peut alors être utilisée pour estimer les probabilités d'apparition et les  
 351 périodes de retour des pluies extrêmes. Les pluies journalières très fortes qui sont de l'ordre de  
 352 plus de 38,80 mm à Bobo, et de 40 mm et plus ont la possibilité de survenir chaque année.

353 Entre 1980 et 2019, 55% de ces pluies ont été enregistrées entre juillet et août à Gaoua. A Bobo,  
354 environ 80 % de ces pluies sont survenues entre août et septembre. Quant aux pluies journalières  
355 extrêmement fortes qui sont celles supérieures ou égales à 63,5 mm et 65 mm à Bobo et à Gaoua  
356 respectivement, elles ont une période estimative de retour de 02 ans.

357  
358 **Discussion : -**

359 Les résultats obtenus des analyses montrent des tendances non significatives des différents indices  
360 d'extrêmes pluviométriques sur la période d'étude (1980-2019). Aussi, aucun de ces indices n'a  
361 enregistré une rupture de stationnarité sur cette période. Les indices relatifs à la fréquence des fortes  
362 pluies affichent tous une tendance non significative à la hausse. Cette augmentation très faible est de  
363 0,05 jours et 0,02 jours par an pour les jours très humides (R95p) au niveau des stations de Gaoua et  
364 de Bobo-Dioulasso respectivement ; et de 0,02 jours et 0,003 jours par an pour les jours  
365 extrêmement humides (R99p). Quant aux indices relatifs à l'intensité, l'on note une évolution  
366 disparatée d'un indice à l'autre et en fonction des stations. Pendant que les pluies journalières  
367 maximales annuelles, exprimant l'intensité journalière des pluies, connaissent une faible  
368 augmentation de 0,19 mm/an à Bobo, c'est une baisse qui est notée à la station de Gaoua dans la  
369 même proportion. Par contre, la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie, ainsi que le cumul  
370 maximum de trois jours consécutifs de pluie, qui expriment également l'intensité des pluies, sont  
371 tous en baisse à Bobo, mais en hausse à Gaoua. Les conditions moyennes de pluviométrie  
372 caractérisées par l'indice des totaux annuels de pluie affichent une tendance non significative à la  
373 hausse dans les deux stations. Toutefois, cette tendance est plus forte à Gaoua qu'à Bobo. Au regard  
374 de ces résultats, l'on doit retenir que la fréquence des fortes pluies tendent à la hausse dans le  
375 domaine climatique sud-soudanien à l'Ouest du Burkina Faso. Aussi, les disparités constatées dans  
376 le sens d'évolution de la fréquence et de l'intensité des fortes pluies montrent que ces phénomènes  
377 extrêmes, tout comme d'autres variables pluviométriques, connaissent également une variabilité  
378 spatiale. Ces résultats sur la fréquence des fortes pluies sont plus ou moins en accord avec ceux de  
379 LAME (2012). En effet, analysant 10 indices pluviométriques caractéristiques de fréquence et de  
380 l'intensité des fortes pluies, l'auteur montre, qu'aucun de ces variables ne présente une tendance  
381 significative sur la période 1980-2010 à la station de Bobo-Dioulasso et de Gaoua. En effet, pour ce  
382 qui concerne les fréquences, l'auteur a mis en évidence une tendance non significative à la hausse  
383 des jours très humides dans deux des trois stations synoptiques les plus suivies et les plus  
384 représentatives du domaine sud-soudanien du pays, à savoir celles de Gaoua et de Pô. A la station de  
385 Bobo par contre, c'est une tendance à la baisse qui a été révélée. A contrario, Kagambega (2021),  
386 analysant cette même variable sur la période 1985-2017 met en évidence une tendance à la hausse à la  
387 station de Bobo-Dioulasso. Pour leur part, Koala et al. (2023), ont montré une légère tendance à la  
388 baisse de cette variable sur la période 1988-2017 à la station de Pô. A la station de Ouagadougou et  
389 Ouahigouya dans les domaines nord-soudanien et sahélien respectivement, Koala S. et al.  
390 (idem), révèlent une tendance significative à la hausse. S'agissant des jours extrêmement humides,  
391 LAME (2012), montre une tendance à la baisse à la station Gaoua et de Bobo, ce qui est  
392 contradictoire aux résultats de cette étude. Toutefois, à la station de Pô, l'auteur signale une  
393 tendance à la hausse sur la même période. Les analyses de Kagambega (2021), révèlent également  
394 une tendance à la baisse de cette variable à Bobo sur la période 1985-2017, tandis que sur la période  
395 1988-2017, elle affiche une tendance à la hausse à Pô selon Koala et al. (2023). Cette tendance  
396 devient plus forte à la station de Ouagadougou et Ouahigouya situées dans les domaines nord-  
397 soudanien et sahélien respectivement. Vraisemblablement, ces disparités dans la tendance  
398 d'évolution de la fréquence des fortes pluies pourraient s'expliquer par la différence des périodes  
399 concernées par les analyses. En outre, il est clair que cette fréquence varie d'une station climatique à  
400 l'autre, d'un domaine climatique à l'autre, et parfois suivant l'indice d'extrême utilisé. Par ailleurs,  
401 la fréquence des fortes pluies journalières, au regard des travaux de plusieurs auteurs (Kabore et al.,  
402 2017 ; Koala et al., 2023) semble plus forte dans les domaines sahélien et nord-soudanien par rapport

403 à celui sud-soudanien où est menée cette recherche. Cet état de fait est relevé par Kaboret *al.*  
404 (2017), qui indiquent que le regain pluviométrique en cours au Burkina Faso est plus prononcé dans  
405 la zone sahélo-soudanienne, soit +31,7 % contre +22,6 % ; et que ce regain pluviométrique  
406 est beaucoup plus lié à la hausse des fortes pluies journalières (Kabore et *al.*, 2017). Quant à  
407 l'intensité de ces événements, elle connaît une évolution progressive ou régressive selon l'indice et la  
408 station considérée. La tendance à la hausse de l'intensité journalière de pluie à Bobo-Dioulasso  
409 révélée par les analyses dans cet article est aussi mise en évidence par Guelbéogo et *al.* (2023), sur  
410 la période de 1988 à 2018, et par Kagambega, (2021), sur la période de 1988-2017. Mais, sur la  
411 période 1980-2010, LAME (2012) relève une tendance à la baisse de cet indice à la station de  
412 Bobo-Dioulasso et de Gaoua ; et une tendance à la hausse à Pô. Bien entendu, les nuances révélées  
413 dans l'évolution de l'intensité des fortes pluies par les analyses pourraient également s'expliquer par  
414 la différence des séries pluviométriques et des stations climatologiques considérées.  
415 S'agissant du mode de distribution temporelle de ces phénomènes, la modélisation statistique  
416 montre que les pluies très fortes ( $R_{95p} : P \geq 40\text{mm}$  à Gaoua, et  $P \geq 38,80\text{ mm}$  à Bobo-Dioulasso) ont la  
417 possibilité de survenir chaque année. Sur la série d'étude (1980-2019), 55% de ces types de pluies  
418 ont été enregistrées à Gaoua entre les mois de juillet et d'août. A la station de Bobo, environ 80 %  
419 de ces pluies ont été enregistrées entre les mois d'août et de septembre. Quant aux pluies  
420 extrêmement fortes ( $R_{99p} : P \geq 65\text{mm}$  à Gaoua, et  $P \geq 63,5\text{mm}$  à Bobo), elles ont une période  
421 indicative de retour de 02 ans. Sur la série d'étude, 57% de ces types de pluies sont survenues  
422 entre juillet et août à Gaoua. Les pluies journalières rares et très rares de l'ordre de 132,5mm et de  
423 145,2mm dont les périodes de retour sont respectivement de 50 ans et 100y ont été également  
424 enregistrées. Des hauteurs de pluies journalières supérieures à ces valeurs, soient 135,64mm  
425 et 154,4 mm ont été déjà enregistrées à Gaoua en 1991 et 1992 respectivement. A Bobo-  
426 Dioulasso, ces pluies extrêmement fortes sont plus ou moins dispersées tout au long de la saison  
427 pluvieuse. En effet, seulement 44% de ces pluies surviennent entre août et septembre, et le reste sur  
428 les autres mois de la saison pluvieuse. La plus forte valeur de pluie journalière à Bobo est de 114mm  
429 et enregistrée en septembre 2015. De telles hauteurs de pluies journalières tombées dans cette  
430 zone induisent des risques d'inondation par stagnation d'une part, et d'autre part, une forte  
431 érosion et la destruction des cultures par les eaux de ruissellement. Par ailleurs, tout porte à  
432 croire que les événements pluviométriques extrêmes sont plus fréquents pendant la pleine saison  
433 pluvieuse (juin-septembre). Cet état de fait est mentionné par OUANDE (2021), dans la zone de  
434 Bobo-Dioulasso où il note que les pluies extrêmes, du moins celles supérieures à 45 mm  
435 surviennent autour de la 1<sup>re</sup> décennie du mois de juin jusqu'à la 1<sup>re</sup> décennie de septembre ; tandis  
436 que les valeurs records ( $P > 100\text{mm}$ ) sont observées entre fin juillet et la deuxième décennie du mois  
437 d'août. Dans la zone de Bagré qui bénéficie d'un climat de type nord-soudanien YANOGO (2012) a  
438 rappelé que les pluies extrêmes étaient surtout fréquentes durant les mois de mai à septembre au  
439 cours de la période 1969-2008. Pour ce qui est de la durée des événements pluviométriques  
440 extrêmes, il ressort de façon globale que le secteur d'étude connaît une augmentation du  
441 nombre de jours des séquences sèches, une baisse du nombre de jours de séquences  
442 pluvieuses et d'un rallongement des saisons sèches au détriment de la saison pluvieuse.

443

#### 444 **Conclusion : -**

445 Cette étude a eu pour objectif la caractérisation de l'évolution tendancielle et le mode de  
446 d'occurrence des événements pluviométriques extrêmes dans le domaine sud-soudanien à  
447 l'Ouest du Burkina Faso sur la période de 1980 à 2019. Elle a révélé globalement une  
448 tendance à la hausse non significative des indices caractéristiques de la fréquence et de  
449 l'intensité des pluies maximales journalières. Ces pluies connaissent également une variabilité  
450 spatiale dans le domaine d'étude aussi bien dans leur intensité que dans leur fréquence. Ces  
451 types de pluies surviennent presque chaque année dans le secteur d'étude, et dans la majorité  
452 des cas, durant la pleine saison des pluies. Cette période correspondant à différentes phases

453 phénologiques de plusieurs plantes cultivées dans la zone (montaison, floraison, épiaison ou  
454 maturation), avec des besoins différents en eau, des pluies excessives au cours de cette  
455 période ne sauraient être sans dommages pour ces spéculations agricoles. L'étude met ainsi en  
456 exergue la nécessité de mettre en œuvre un système de prévision et de communication sur la  
457 survenance de ces événements dès le début de chaque hivernage afin d'aider les paysans à  
458 mieux planifier leurs activités agricoles.

459

#### 460 **Références bibliographiques : -**

- 461 1. Autorité du Bassin de la Volta- Organisation Météorologique Mondiale-Global Water  
462 Partnership, Initiative Volta GIC, (2016), *Initiative Préparation de Projets de Mise en œuvre*  
463 *de la Gestion Intégrée des Crues –GIC- dans le bassin de la Volta et ses six pays riverains.*  
464 Rapport d'étude, Initiative Volta GIC/RT.2/2016, 158 p.
- 465 2. CONASUR, (2009), *Bilan des inondations du 1<sup>er</sup> septembre 2009 à nos jours*, CONASUR,  
466 Burkina Faso, (2009) 25 p.
- 467 2. GIZ (2021), *Analyse des risques climatiques pour l'identification et la pondération des*  
468 *stratégies d'adaptation dans le secteur agricole du Burkina Faso*, rapport d'étude, 170 p.
- 469 3. Faiza Hallouz, Mohamed M., Gil M., Hafsa Karahacane, Salah Eddine, Ali  
470 R. (2019), *Tendance des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de*  
471 *changement climatique : bassin versant de l'oued Mina en Algérie*. *Revue des sciences de*  
472 *l'eau /Journal of Water Science*, 32 (2), 83–114. <https://doi.org/10.7202/1065202ar>
- 473 4. GIEC, (2014), *Changements climatiques 2014, Incidences, adaptation et vulnérabilité*  
474 *résumés, foireaux questions et encarts thématiques, contribution du Groupe de travail II*  
475 *au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur*  
476 *l'évolution du climat*, 222 P.
- 477 5. Guelbeogo S., Ouédraogo L., Koala Suzanne, (2023), *Manifestations et facteurs de risque*  
478 *d'inondation dans le bassin versant du kou, au burkinafaso*. *International Journal of Science*  
479 *Academic Research*, Vol. 04, Issue 11, November, 2023 pp.6637-6643.
- 480 6. Institut National de Statistiques et de la Démographie (1985 ;2006 ; 2019), *Cinquième*  
481 *recensement général de la population et de l'Habitation du Burkina Faso ; résultats*  
482 *définitifs et préliminaires*.
- 483 7. Kabore P.N., Ouédraogo A., Sanon M., Yaka P., Somé L. (2017), *Caractérisation de la*  
484 *variabilité climatique dans la région du centre-nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015*.  
485 *Climatologie*, vol. 14, pp 82-95.
- 486 8. Kagambega P. Z. (2021), *Vulnérabilité des sols à l'érosion et les techniques et pratiques*  
487 *endogènes de lutte antiérosive dans le bassin versant du Kou*, Thèse de doctorat unique de  
488 géographie option : gestion des ressources naturelles, université Joseph KI-ZERBO, 244 p.
- 489 9. Koala Suzanne, Dipama J.M., Vissin E.W. (2023), *Evolution of extreme rainfall and*  
490 *temperature indices in thenakambé watershed at the bagré outflow (burkinafaso)*. *International*  
491 *Journal of Advanced Engineering and Management Research* Vol. 8, No.2;2023 pp 154-169.
- 492 10. Kodja D. J. (2018), *Indicateurs des événements hydro climatiques extrêmes dans le bassin*  
493 *versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'ouest*, thèse de doctorat unique  
494 de géographie, spécialité, Sciences de la Terre et de l'Eau, université de Montpellier 288p.
- 495 11. Koudamilo O. (2017), *Vulnérabilité aux risques hydro-climatiques et stratégies*  
496 *d'adaptation des populations dans le bassin versant de l'Ouémé à Beterou (Benin)*, Thèse  
497 de doctorat unique de géographie option : gestion des ressources naturelles, université  
498 Ouaga 1 Pr Joseph KI-ZERBO, 274 p.
- 499 12. Laboratoire d'Analyses Mathématiques des Equations (2012), *Elaboration du PANA*  
500 *Programmatique du Burkina Faso : Etudes de modélisation climatique, d'évaluation des*  
501 *risques et analyse de la vulnérabilité aux changements climatiques*, rapport d'étude, 193 p
- 502 13. Meylan P., Musy A. (1999), *Hydrologie fréquentielle*, Bucarest, éditions \*H\*G\*A\*415p

- 503 **14.** Sanogo Fadima (2010), *Systèmes de production sahéliens face aux changements*  
504 *climatiques*, mémoire de master en géographie, gestion des ressources naturelles,  
505 université de Ouagadougou 104 p.
- 506 **15.** Sarr B., Traore S. (2010), *Impacts des changements climatiques sur quelques secteurs*  
507 *clés : impacts sur l'agriculture*. Le Sahel face aux changements climatiques, enjeux pour  
508 un développement durable, Centre Régional Agrhymet, bulletin mensuel, Numéro spécial  
509 Niamey Niger p 22-24.
- 510 **16.** Secrétariat Permanent du Conseil national pour l'Environnement et le Développement  
511 Durable (2010), *Troisième rapport sur l'état de la végétation au Burkina Faso*, 263p.
- 512 **17.** Tra bi Z. A. (2013), *Etude de l'impact des activités anthropiques et de la variabilité*  
513 *climatique sur la végétation et les usages des sols, par utilisation de la télédétection et des*  
514 *statistiques agricoles, sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc)*. Thèse pour l'obtention  
515 du diplôme de Doctorat d'Université en Géographie ; Spécialité : Géographie Physique  
516 Université d'Artois/ Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, 192 p.
- 517 **18.** Ouandé M. (2021), *Recomposition de l'espace hydroaménagé de la commune rurale de*  
518 *Bama (ouest du Burkina Faso)* Thèse de doctorat unique de géographie option :  
519 aménagement du territoire, Université Joseph KI-ZERBO 415p.
- 520 **19.** Yanogo P. I. (2012), *Les stratégies d'adaptation des populations aux aléas climatiques*  
521 *autour du Lac Bagré (Burkina Faso)*. Thèse de Doctorat Unique de Géographie Option :  
522 Gestion de l'Environnement, Spécialité : Géoscience de l'Environnement et  
523 Aménagement de l'espace, Université d'Abomey-Calavi, 254 p.