

**ANALYSE DES TENDANCES, DE LA VARIABILITÉ ET DES EXTRÊMES
CLIMATIQUES DANS LE DOMAINE SOUDANIEN À L'OUEST DU BURKINA
FASO**

Gouroumana KAMBIRE

Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés/ Université Joseph KI-ZERBO
gouroumkambire@gmail.com

&

Wendlassida OUEDRAOGO

Université Nazi BONI/ Centre universitaire de Gaoua

&

Djakalia TRAORE

Institut de Formation et de Recherche des Lettres, Sciences Humaines et
Sociales/ Ecole Normale Supérieure.

&

Yélézouomin Stéphane Coarentin SOME

Laboratoire Sciences Humaines / Université Norbert ZONGO

Résumé : Le changement climatique observé à travers le monde s'est traduit ces dernières décennies dans les pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest comme le Burkina Faso par une recrudescence de la variabilité des paramètres et des extrêmes climatiques. Cette situation entraîne de graves conséquences sur différents secteurs d'activités, dont celui de l'agriculture qui est le moteur de développement économique du pays. Ainsi, cette étude est-elle initiée pour analyser la tendance d'évolution récente des caractéristiques moyennes et des événements extrêmes du climat, ainsi que sa variabilité dans le domaine soudanien à l'Ouest du Burkina Faso. A cet effet, les données de pluies et de températures ont été utilisées. La méthodologie adoptée est basée sur une analyse graphique et statistique de l'évolution des moyennes, des indices centrés réduits et des indices des extrêmes pluviométriques. Les résultats montrent globalement une tendance non significative à la hausse et une forte variabilité des températures et des cumuls moyens annuels de pluies, ainsi qu'un accroissement des extrêmes pluviométriques sur la période d'étude (1989-2018). Cet état de fait met à nu les risques et incertitudes liés à la production agricole dans cette région qui est réputée être le « grenier » du Burkina Faso. Une prise de conscience de telles réalités devrait contribuer à des prises de décisions efficaces et durables en lien avec les aménagements agricoles dans cette partie du Burkina Faso afin de lui permettre de jouer son rôle de zone nourricière du pays.

Mots clés : Variabilité climatique, extrême climatique, tendance climatique, domaine soudanien.

ANALYSIS OF CLIMATE TRENDS, VARIABILITY AND EXTREMES IN THE SUDANIAN DOMAIN WEST OF BURKINA FASO

Abstract : The climate change observed throughout the world has resulted in recent decades in the Sahelian countries of West Africa such as Burkina Faso in an upsurge in the variability of climatic parameters and extremes. This situation has serious consequences for various sectors of activity, including agriculture, which is the driving force behind the country's economic development. Thus, this study is initiated to analyze the trend of recent evolution of the average and extreme characteristics of the climate, as well as its variability in the Sudanian domain in the West of Burkina Faso. For this purpose, rainfall and temperature data were used. The adopted methodology is based on a graphic and statistical analysis of the evolution of the averages, of the reduced centered indices and of the extreme rainfall indices. Overall, the results show a non-significant upward trend and a high variability of accumulations rainfall and average annual temperatures, as well as an increase in rainfall extremes over the study period (1989 and 2018). This state of affairs exposes the risks and uncertainties associated with agricultural production in this region which is reputed to be the breadbasket of Burkina Faso. Awareness of such realities should contribute to effective and sustainable decision-making in connection with agricultural development in this part of Burkina Faso in order to enable it to play its role as the country's food zone.

Key words: Climatic variability, Climatic extremes , Climate trend, Sudanian domain.

Introduction

Les changements dans les caractéristiques du climat et leurs impacts sur les systèmes naturels et humains à travers le monde ne font l'objet d'aucun doute. Ces dernières décennies, cette péjoration climatique qui se caractérise non seulement par la forte variabilité spatio-temporelle des paramètres comme la pluviométrie, mais aussi la recrudescence des phénomènes climatiques extrêmes a d'énormes répercussions sur le milieu biophysique et les activités des populations les plus vulnérables (WGP/AO 2010 p.21, G. NAKOULMA, 2021 p.8). Dans le secteur de l'agriculture qui subit de plein fouet l'impact du climat, la plupart des études concluent à des dommages plus prononcés lorsque les événements extrêmes sont pris en compte (ONERC 2008 p.20). En Afrique de l'Ouest où les paramètres climatiques se singularisent par leur forte variabilité, les phénomènes climatiques extrêmes sont particulièrement récurrents et entraînent de nombreux dommages sur les secteurs économiques et le bien-être des populations (A. B. SARR et M. CAMARA, 2017 p.208). Dans les zones soudano-sahéliennes comme le Burkina Faso, la forte variabilité interannuelle des pluies et des

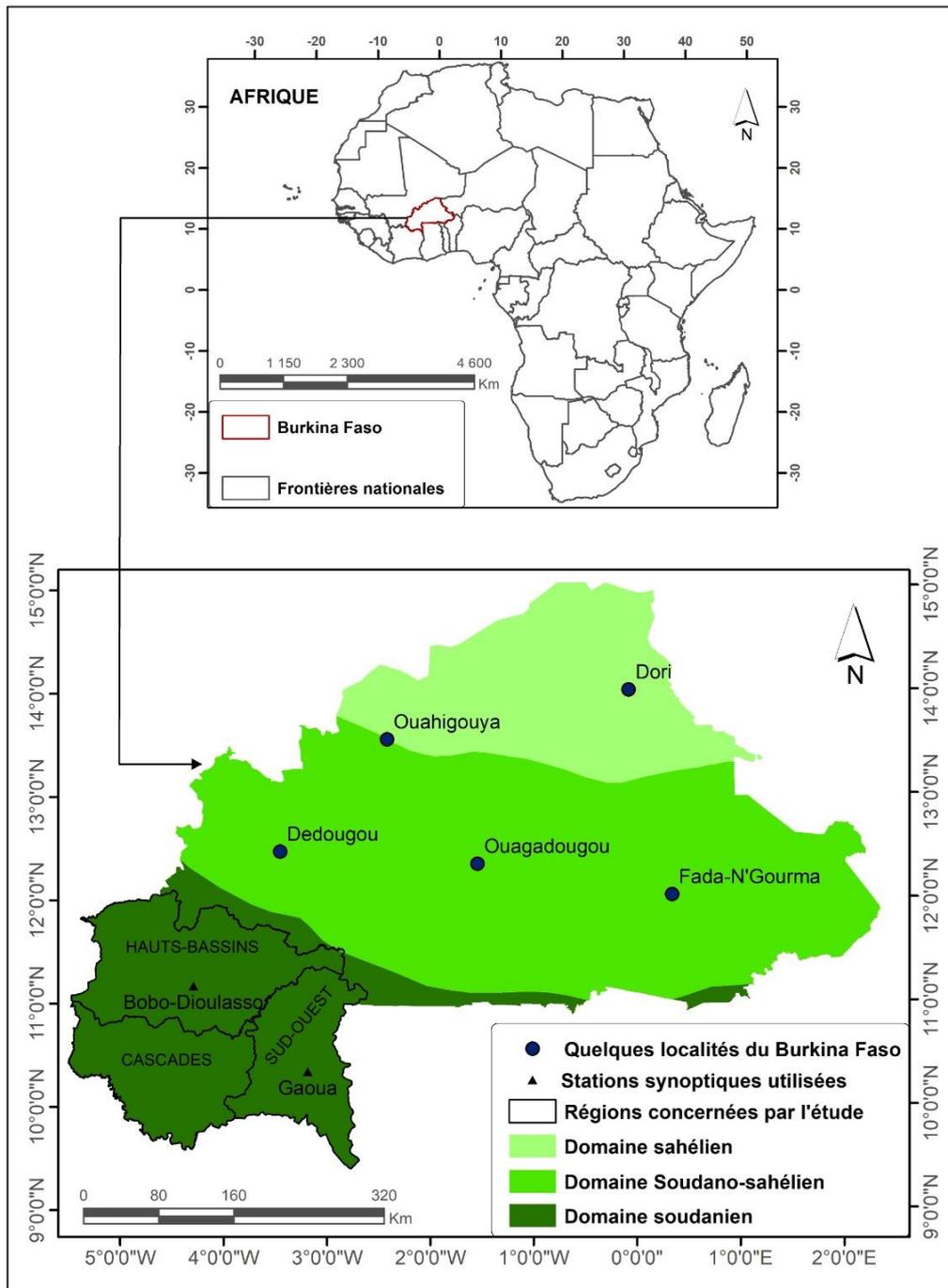
températures, les sécheresses récurrentes, la hausse des températures et des pluies maximales constituent entre autres manifestations et menaces de la péjoration climatique. S'agissant des fortes précipitations, GIZ (2021 p.17) relève que leur intensité et leur fréquence ont augmenté ces dernières décennies dans presque toutes les régions du Burkina Faso. A l'Ouest du pays particulièrement, les extrêmes climatiques engendrent de nombreux dommages dont la dégradation de l'environnement biophysique et surtout, la compromission de l'activité agro-pastorale (C.T. WADE et al. 2015 p .31). Selon J.R. SCHLEYPEN, et al. (2019 p.39), à l'horizon 2050, la recrudescence des précipitations extrêmes induira la pire baisse des rendements agricoles dans des régions de l'Ouest du pays, soit de 27%, 24% et 23% dans les régions des cascades, du Sud-Ouest et es Hauts-Bassins respectivement. Or, cette partie du Burkina Faso est une zone majeure de production vivrière. Elle est considérée comme le « grenier à grains » du pays (GIZ 2021 p.9). De ce fait, l'accentuation des stimulus climatiques dans cette région pourrait entraîner à l'avenir une insécurité alimentaire accrue dans le pays. En effet, les céréales qui constituent la base de l'alimentation dans le pays occupent 67% des superficies cultivées dans le bassin du Mouhoun qui couvre une bonne partie de cette zone. De plus, 05 provinces de cette zone à savoir le Houet, le Kéné Dougou, le Mouhoun, le Poni, et la Bougouriba produisent à elles seules 60% du maïs Burkinabé (ABV-OMM-GWP/Volta GIC, 2016 p.16). Au regard de ce qui précède, il est préoccupant de comprendre comment les variables climatiques qui conditionnent la réussite de l'activité agricole évoluent dans cette partie du pays. L'objectif de ce travail est de caractériser la dynamique récente du climat dans le domaine Soudanien à l'Ouest du Burkina Faso sur la normale climatique 1989-2018. Le but poursuivi est d'interpeller les pouvoirs publics sur la nécessité de prendre des mesures efficaces pour préserver le secteur agricole du pays des caprices climatiques.

1. Cadre géographique de la zone d'étude

La présente étude est menée dans la partie Ouest du Burkina Faso. Habituellement, la zone géographique considérée comme l'Ouest de ce pays regroupe 04 régions administratives à savoir la région de la Boucle du Mouhoun, des Hauts-Bassins, du Sud-Ouest et des Cascades. Mais dans cette étude, seules les 03 dernières régions qui sont entièrement couvertes par le domaine soudanien sont prises en compte (cf. carte1). Cette zone qui s'étend sur une superficie d'environ 60436 km² abrite une population de près de 3 927748 habitants, soit environ 19,5% de la population totale du pays (INSD, 2019 -RGPH 2019). Bénéficiant d'un climat de type soudanien, elle enregistre des températures moyennes annuelles généralement situées entre 27°C et 30°C et des cumuls annuels de pluies allant de 900 mm à plus de 1100 mm avec une saison des pluies qui s'étale sur 6 à 7 mois (GIZ 2021 p.9) ; ce qui fait d'elle une région propice à la production agricole. Cette région dispose d'une gamme variée de sols comprenant les sols hydromorphes et bruns eutrophes, les sols sesquioxydes à matières organiques, les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés ou lessivés, les sols ferrallitiques, les lithosols, les sols peu évolués d'érosion etc. Dans l'ensemble, ces sols présentent des potentialités agronomiques appréciables et sont aptes à la culture des principales céréales (le sorgho, le millet, le maïs, le riz, le niébé), base de l'alimentation

des populations, mais également aux cultures de rente telles que le coton, le sésame les arachides. C'est aussi une zone par excellence de l'arboriculture fruitière et de production des tubercules. Toutes ces potentialités font de cette partie du Burkina une importante zone agricole que GIZ (2021 p.9) a désignée par périphrase « grenier à grains » du Burkina. L'agriculture y est la principale activité économique des populations. Cette région nourrit beaucoup d'espoir en termes de production agricole et d'atteinte de la sécurité alimentaire dans le pays. Outre l'agriculture, la région constitue une zone d'activités industrielles et commerciales non négligeable. Bobo-Dioulasso, chef-lieu de la région des Hauts-Bassins qui est le deuxième centre industriel du pays s'y trouve. Disposant du relief le plus accidenté du pays, le secteur d'étude se caractérise par la présence de 03 principales unités topographiques à savoir les montagnes, les plateaux et les plaines. Le plus haut sommet du Burkina Faso, le mont Téna-kourou (747m) dont l'ascension fait l'objet d'une compétition sportive s'y trouve (INSD, 2019 monographies de la région des cascades p.26). Son relief pittoresque à l'image des falaises de Banfora, des Dômes de Fabédougou, des ginguettes de Karfiguala etc. fait également de la région une zone touristique de premier plan. Le secteur est drainé par de nombreux cours d'eau dont le Kou, la Comoé, la Léraba et notamment le fleuve Mouhoun sur lequel est réalisé l'important barrage hydro-agricole de Samandeni dans les encablures de Bobo-Dioulasso, en plus du périmètre de la vallée du Kou réalisé depuis 1974.

Carte 1 : Situation géographique de l'espace d'étude



Source: BNDT, 2012; Réalisation: OUEDRAOGO W., 2023

2. Données et méthodes

2.1. Données utilisées

Pour l'analyse de l'évolution du climat dans l'aire d'étude, les données de pluviométrie et de température de deux (02) stations météorologiques de référence

situées dans la zone ont été utilisées. Il s'agit des stations synoptiques de Bobo-Dioulasso et de Gaoua. Les données de pluviométrie ont été obtenues au pas de temps journalier et mensuel, tandis que celles thermométriques ont été fournies au pas de temps mensuel uniquement. Ces données qui couvrent une normale climatique, en l'occurrence la normale 1989 à 2018 ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM). Le choix de cette normale se justifie par le fait que les décennies des années 1990 à nos jours sont décrites dans la littérature comme une période d'instabilité climatique aussi bien au Sahel, qu'à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest. Bien qu'enregistrant un regain pluviométrique, cette période est surtout marquée par une variabilité spatio-temporelle accrue des paramètres climatiques et la recrudescence des événements extrêmes. Le choix de la pluviométrie et des températures pour cette analyse est lié au fait qu'en Afrique Subsaharienne, la pluviométrie et les températures sont réputées être les deux facteurs qui caractérisent le mieux le climat et son évolution (C.T. WADE et al. 2014 p.18).

2.2. Méthodes de traitement et d'analyse des données

Les aspects de la dynamique climatique analysés dans cette étude concernent non seulement la tendance d'évolution linéaire de la température et de la pluviométrie annuelle, leur variabilité temporelle, mais aussi des phénomènes pluviométriques extrêmes. Pour l'analyse, deux méthodes ont été utilisées : une méthode graphique et une autre statistique. La méthode graphique basée sur la régression linéaire a consisté en la représentation graphique des variables climatiques analysées. Ainsi, pour rendre compte de la tendance d'évolution du climat, les températures et les cumuls pluviométriques annuels, le nombre de jours pluvieux par an ainsi que les extrêmes pluviométriques ont été analysés à travers la régression linéaire. Celle-ci montre l'évolution sur le long terme et permet de détecter les tendances dans les séries pluviométriques. Elle consiste en une représentation graphique de droite de régression de type affine qui présente l'évolution linéaire et permet de déceler la tendance. L'équation de la droite de tendance est : $y = ax + b$; a est le coefficient directeur et représente la pente et b une constante.

Si $a > 0$, on a une augmentation ;

Si $a < 0$, on a une diminution.

S'agissant des extrêmes pluviométriques, les aspects analysés sont leur fréquence et leur intensité. La tendance à la hausse ou à la baisse de ces aspects a été décrite par la méthode de la régression linéaire. Pour ce faire, les caractéristiques de la pluviométrie considérées comme extrêmes sont celles définies sous forme d'indices et recommandés par l'Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) pour l'étude des extrêmes pluviométriques. Ainsi, l'intensité des événements pluviométriques extrêmes est analysée à travers deux (02) indices : il s'agit de la hauteur de pluie journalière maximale par an et la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (Intensité moyenne de pluie). L'analyse de leur fréquence est basée sur le nombre de jours avec une hauteur de pluie franchissant un certain seuil. Il a été retenu un seuil variable fixé au nombre de jours avec des pluies ($P \geq 1$ mm) supérieures au 95^e et 99^e centiles au cours de la période de référence (1989-2018) ; puis un seuil fixe

maintenu au nombre de jours avec une pluie $p \geq 50\text{mm}$. L'utilisation de l'unique paramètre, la pluviométrie pour analyser les extrêmes climatiques est liée à la difficulté d'accès aux données de température au pas de temps journalier. Ce choix est également conforté par l'idée selon laquelle la pluviométrie permet à elle seule de déterminer l'évolution de l'environnement au Sahel, et peut être considérée comme le paramètre le plus indiqué pour caractériser l'évolution du climat dans cette partie du monde (A. ALI, 2010 p.17). Les indices d'extrêmes pluviométriques utilisés sont consignés dans le tableau 1.

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

Indentification	Nom de l'indice	Définition	Unité
SDII	Simple dayly intensity index	Lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie/ Intensité journalière de pluie	Mm/J
R(nn)mm	Annual count of days when PRCP= (nn) mm	Nombre de jours de pluies supérieures à un seuil fixé (nn) par l'utilisateur par an	Jours
Px365J	Pluie journalière maximale annuelle	Cumul maximal de pluie enregistré en un jour sur une année civile	mm
R95pTOT	Contribution from very wet days	Nombre de jours de pluie par an supérieur à la valeur de pluie du 95e percentile	%
R99pTOT	Contribution from extremely wet days	Nombre de jours de pluie par an supérieur à la valeur de pluie du 99e percentile	%

Source : ANAM 2021

Quant à la variabilité climatique, elle est mise en évidence à travers les indices centrés réduits. Il s'agit de l'indice standardisé de Précipitation (SPI) et d'anomalies thermométriques. L'indice Standardisé de précipitation est obtenu par la formule suivante :

$$SPI = \frac{P_i - p_m}{\sigma}$$

P_i désigne le cumul de pluies pour une année « i » ; p_m est la moyenne interannuelle des pluies sur la série considérée ; σ est l'écart-type interannuel sur la série considérée. Le tableau ci-dessous donne le niveau de sécheresse ou d'humidité en rapport selon le SPI.

Tableau 2: Classe de niveau de sécheresse ou d'humidité selon le SPI

Classe SPI	Interprétation
SPI>2	Humidité Extrême
1<SPI<2	Humidité Forte
0<SPI<1	Humidité modérée
-1<SPI<0	Sécheresse Modérée
-2<SPI<-1	Sécheresse Forte
SPI<-2	Sécheresse Extrême

Source : OUOBA A.P., (2013 p.57).

L'indice d'anomalie de température est obtenu par le même principe de calcul que le SPI. Toutefois, ne disposant pas d'échelle de qualification des déficits ou des excédents thermiques, il est fait recours à la loi de la normale afin d'identifier les périodes thermiquement excédentaires, déficitaires ou normales. En partant du principe de la loi normale, est considérée comme année thermiquement déficitaire (A_d), une année dont la température moyenne (T_i) est inférieure à la moyenne des températures de la série moins l'écart-type ($T_m - \sigma$). Inversement une année est thermiquement excédentaire (A_e), si sa température moyenne (T_i) est supérieure à la moyenne des températures de la série (T_m) plus l'écart type ($T_m + \sigma$). Une année est normale (A_n), lorsque sa température moyenne (T_i) est comprise entre la moyenne des températures de la série (T_m) plus l'écart type ($T_m + \sigma$), et la moyenne des températures de la série (T_m) moins l'écart type ($T_m - \sigma$) (SOME Y.S.C., 2018 p. 20). En récapitulant on a :

$$A_d = T_i < T_m - \sigma \text{ et } A_e = T_i > T_m + \sigma \text{ et } A_n = T_m + \sigma > T_i > T_m - \sigma$$

Par ailleurs, il faut noter que les paramètres de dispersion ne suffisent pas à eux seuls à mesurer la variabilité climatique. En effet, ils ne décrivent pas l'évolution temporelle des séries pluviométriques. Aussi, la régression linéaire ne permet de connaître le niveau de significativité des tendances. Ainsi, le test non paramétrique de Mann-Kendall a été utilisé pour renforcer l'analyse des tendances, tandis que le test de Pettitt est utilisé pour rechercher une éventuelle rupture de stationnarité dans les séries de données. Le test de Mann-Kendall et de Pettitt ont été effectués avec le logiciel informatique XLSTAT.

L'ensemble de ces résultats sont présentés ci-dessous.

3. Résultats et analyse

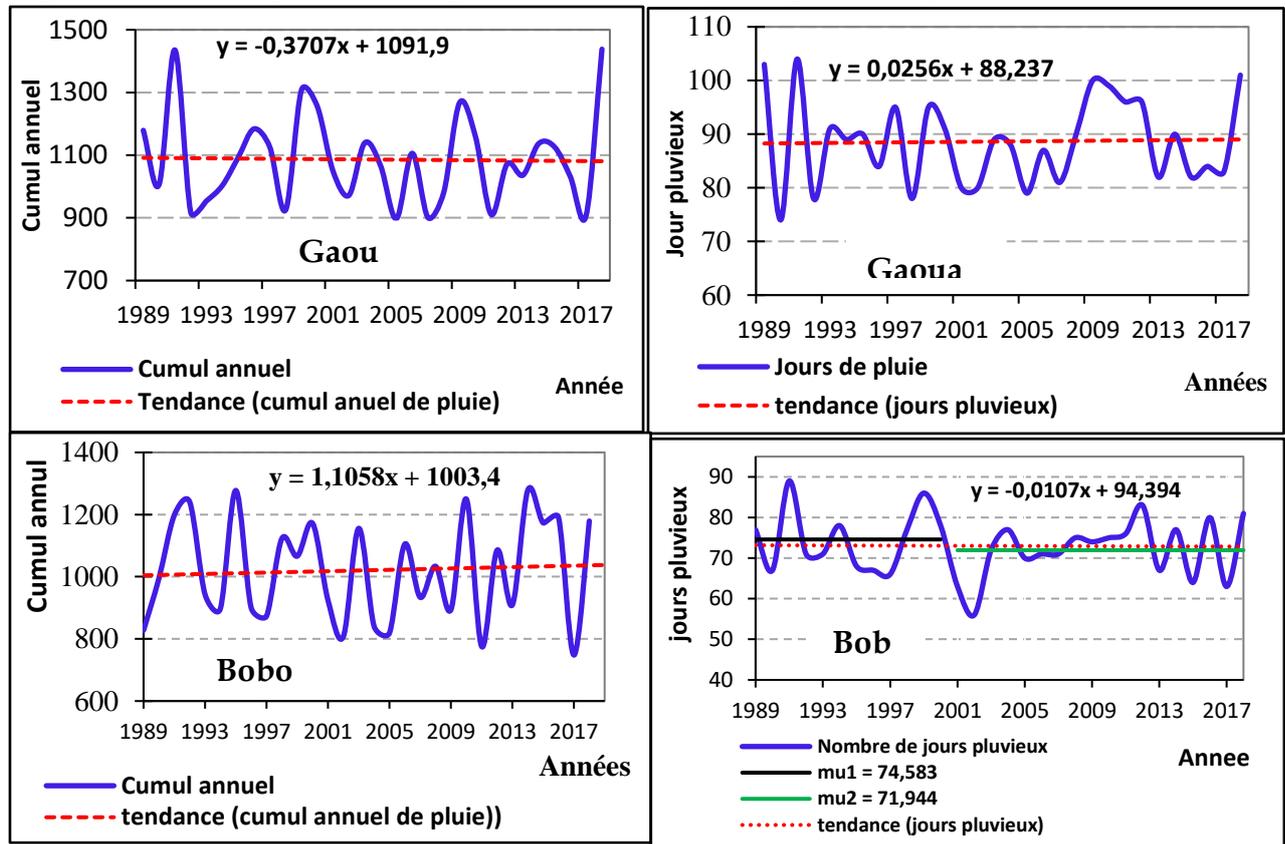
3.1. Etude des tendances de la pluviométrie et de la température

3.1.1. Evolution des cumuls annuels et le nombre de jours de pluies par an ($p \geq 1\text{mm}$)

Le cumul annuel des précipitations est l'indicateur le plus utilisé pour décrire l'évolution à long termes des pluies. Aussi, l'étude des jours pluvieux peut-elle contribuer à l'amélioration des connaissances sur les aspects de la dynamique

pluviométrique saisonnière et annuelle. Ces deux variables sont alors prises en compte dans l'analyse des extrêmes pluviométriques. La figure 1 présente l'évolution de ces deux variables dans le secteur d'étude sur la période 1985-2019 aux stations de Gaoua et Bobo.

Figure 1 : Cumuls pluviométriques et nombre de jours pluvieux par an à Gaoua et de



Bobo

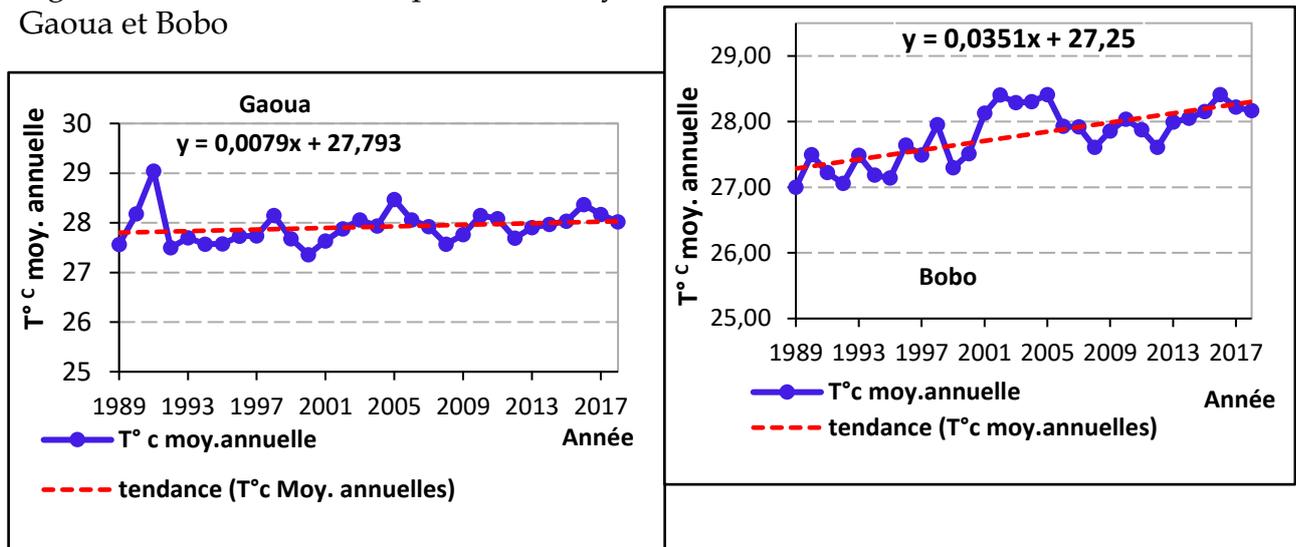
Source : ANAM, 2021

Pour ces deux variables, la figure montre deux situations inverses. A la station de Gaoua, les cumuls annuels de pluies ont une tendance à la baisse sur la période entre 1989 et 2018, tandis que le nombre de jours pluvieux par an tend à augmenter. A la station de Bobo-Dioulasso par contre, ce sont les cumuls annuels de pluie qui tendent à la hausse alors que le nombre de jours pluvieux connaît une tendance baissière. Ce résultat permet de dire que l'irrégularité temporelle de la pluviométrie est plus forte dans la zone de Bobo-Dioulasso par rapport à Gaoua ; toutefois, les quantités pluviométriques annuelles y sont plus importantes. Ce résultat témoigne également d'une faiblesse des quantités des événements pluvieux dans la zone de Gaoua, comparativement à Bobo. Ces variables soumises aux tests de tendance de Mann-kendall et d'homogénéité de Pettitt permet de noter les observations suivantes : aussi bien à la station de Bobo que de Gaoua, aucune variable n'a enregistré une tendance significative au seuil de 0,05. Cependant le nombre de jours pluvieux par an a connu une rupture à la baisse à Bobo en 2000 qui est signalée par le test de Pettitt.

3.1.2. Evolution de la température moyenne annuelle

Depuis plusieurs décennies de l'Afrique de l'Ouest connaît un réchauffement du climat induit par la hausse continue des températures. Pour apprécier l'évolution récente de la température en domaine soudanien Burkinabè, en l'occurrence sur la normale 1989-2018, les températures moyennes annuelles ont été analysées. La figure 2 présente leur évolution sur la période indiquée.

Figure 2: Evolution des températures moyennes annuelles entre 1989 et 2018 à Gaoua et Bobo



Source : ANAM 2021

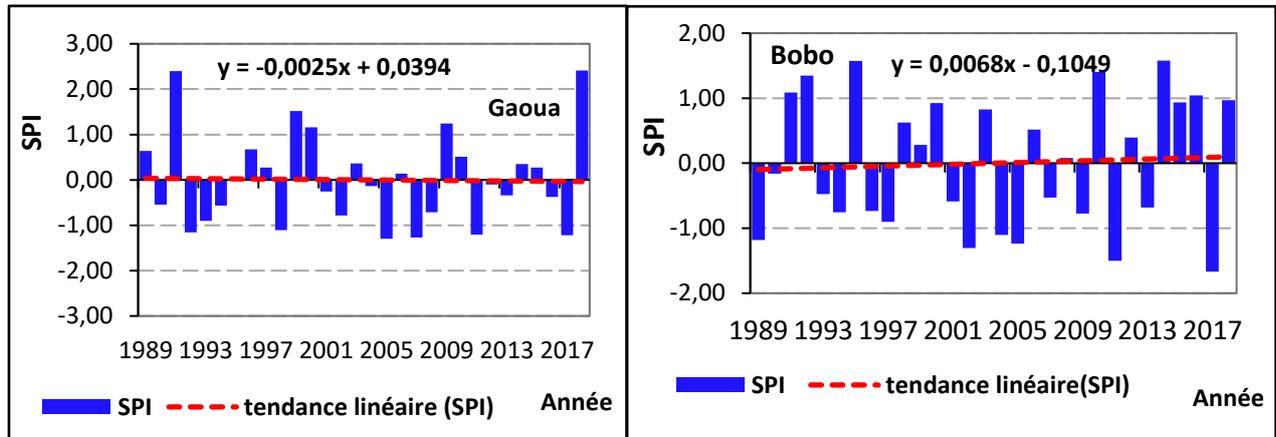
L'analyse des graphiques permet de remarquer que durant la normale climatique 1989-2018, les températures moyennes annuelles ont connu une légère tendance à la hausse aussi bien à la station de Gaoua que celle de Bobo-Dioulasso. Toutefois, cette tendance est plus forte à Bobo qu'à Gaoua ; de même que la variabilité interannuelle de ces températures. L'application des tests statistiques a permis de noter l'absence de rupture dans les températures moyennes au cours de la période d'étude pour les deux stations. Cependant le test de tendance de MANN-KENDALL a révélé une tendance significative au seuil de 0,05 de cette variable aussi bien à la station de Bobo que de Gaoua. Afin de mieux apprécier la variabilité temporelle des pluies et des températures sur la période d'étude, les indices centrés réduits portant sur ces deux paramètres ont été analysés au point suivant.

3.2. Etude de la variabilité climatique

3.2.1. Variabilité interannuelle de la pluie à Bobo et Gaoua

Pour l'analyse de la variabilité interannuelle des pluies, l'indice standardisé des précipitations (SPI) a été utilisé. Cet indice recommandé par l'OMM pour l'étude des sécheresses a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires de la série pluviométrique, même sur une échelle temporelle courte. La figure 3 indique l'évolution de l'Indice Standardisé des Pluies dans le secteur d'étude.

Figure 3: Evolution de l'Indice Standardisé des Pluies à Bobo et Gaoua



Source : ANAM 2021

La figure 3 montre une variabilité interannuelle des cumuls pluviométriques qui se traduit par l’alternance entre années humides et années sèches dans le secteur d’étude. Cependant, cette variabilité est plus forte dans la zone de Bobo qu’à Gaoua en témoigne un écart-type de 163,4 enregistré à la station de Bobo sur la période d’étude contre 145,88 pour Gaoua. Aussi, les indices centrés réduits pris en valeurs absolues sont globalement plus élevés à Bobo qu’à Gaoua, ce qui témoigne d’une plus grande ampleur de la variabilité à Bobo. Toutefois, la station de Bobo affiche une légère tendance à l’humidité sur la période d’étude alors que celle de Gaoua montre une tendance à la sécheresse. Afin de renforcer ces observations, le tableau 2 a été dressé pour présenter les années et leur niveau de sécheresse ou d’humidité dans le secteur d’étude.

Tableau 2: Classes de sécheresse ou d’humidité en rapport avec le SPI

Classe SPI	Interprétation	Années concernées	
		Gaoua	Bobo-Dioulasso
SPI>2	Humidité Extrême	1991, 2018	Néant
1<SPI<2	Humidité Forte	1999, 2000, 2009	1991, 1992, 1995, 2010, 2014, 2016
0<SPI<1	Humidité modérée	1989, 1995, 1996, 1997, 2003, 2004, 2006, 2010, 2012, 2014, 2015	1998, 1999, 2000, 2003, 2006, 2008,2012, 2015 ,2018
-1<SPI<0	Sécheresse Modérée	1990, 1992, 1993, 1994, 1998 ; 2001, 2002, 2008, 2013, 2016	1990, 1993, 1994, 1996,1997, 2002,2001, 2007,2 013
-2<SPI<-1	Sécheresse Forte	2005, 2007, 2011, 2017	1989, 2004, 2005, 2009,2011,2017
SPI<-2	Sécheresse Extrême	Néant	Néant

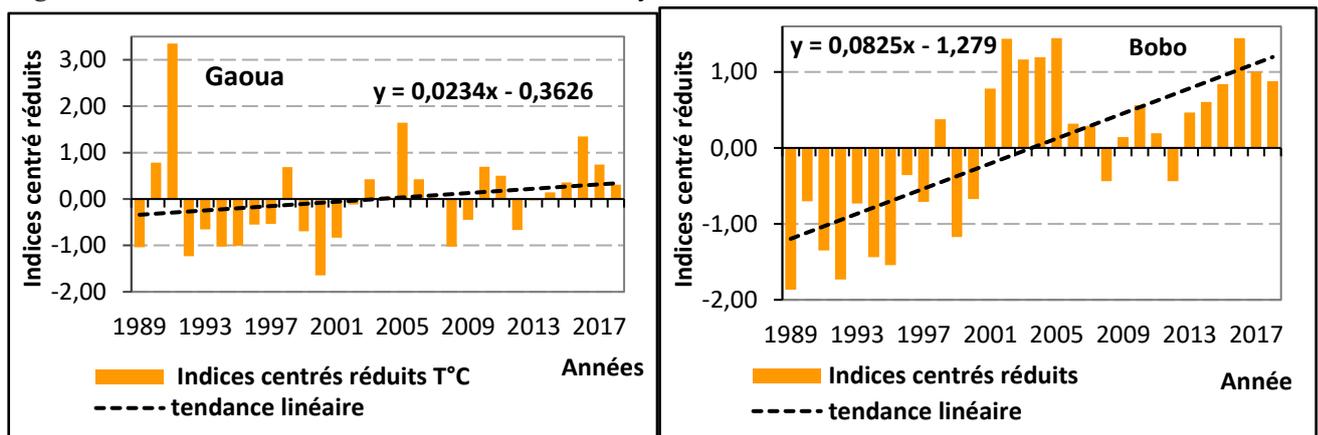
Source : ANAM 2021

A travers le tableau 2, l'on s'aperçoit que la zone a connu des années de sécheresses et d'humidité fortes à modérées sur la période de référence. Aucune année de la période d'étude au niveau des deux stations n'a enregistré une année de sécheresse extrême. Toutefois, la station de Gaoua a enregistré une humidité extrême en 1991 et 2018. Néanmoins, les années d'humidité modérée ont dominé la zone d'étude sur la période d'étude selon les données de chacune des deux stations. Dans l'ensemble, chacune des deux (02) station a enregistré presque autant d'années sèches qu'humides, soit 14 contre 16 pour Gaoua et, 15 années sèches contre 15 années humides pour la station de Bobo-Dioulasso. Après la pluviométrie, l'analyse de la variabilité climatique va porter sur les températures moyennes annuelles.

3.2.2. Variabilité interannuelle de la température moyenne annuelle

La température moyenne annuelle permet de mesurer les conditions moyennes de températures dans une zone donnée. La variabilité temporelle de la température dans le secteur d'étude est alors analysée à travers les indices centrés réduits des températures moyennes annuelles. La figure 4 présente l'évolution des indices centrés réduits des températures moyennes annuelles de la zone d'étude.

Figure 4 : indices centrés réduits des T°C moyennes annuelles à Gaoua et Bobo



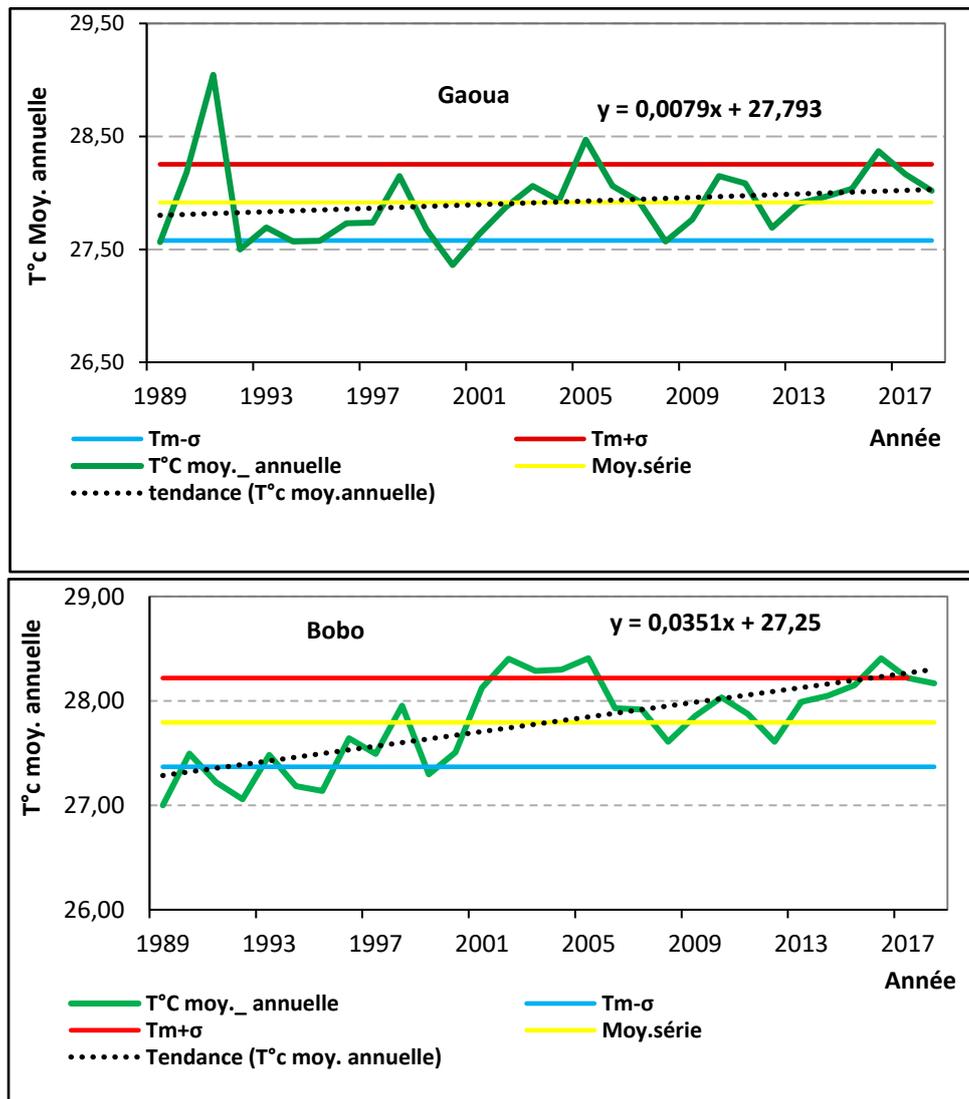
Source : ANAM 2021

La figure 4 montre une variabilité interannuelle des températures moyennes sur la période de référence, mais qui est plus marquée par une succession de périodes d'anomalies négatives ou positives. A la station de Gaoua, l'on note une période marquée globalement par un déficit thermique et qui va de 1989 à 2002 ; à l'exception de 1990, 1991 et 1998 qui sont excédentaires. Au cours de la période, 1991 a été l'année la plus chaude avec un record d'anomalie positive de +3,19, tandis que 2000 a été la plus fraîche avec une anomalie négative de -1,65. La période de 2002 à 2018 a quant à elle est marquée par une variabilité interannuelle plus forte. A la station de Bobo, deux périodes se distinguent beaucoup plus nettement. Une allant de 1989 à 2000 marqué par des déficits thermiques et, une autre allant de 2001 à 2018 qui enregistre des anomalies positives. Ce résultat amène à dire que les températures sont beaucoup plus régulières à la station de Bobo qu'à Gaoua. Par ailleurs, au cours de la période de référence, 2005 et 2016 ont été les années les plus chaude avec un record d'anomalie positive est de +1,45 chacune tandis que 1989 a été la plus fraîche avec un record de -

1,87. Dans l'ensemble, l'on note une tendance globale à un réchauffement climatique dans le secteur d'étude.

Afin de permettre une appréciation du niveau de sévérité des anomalies de température, la variabilité est également analysée sur la base du principe de la loi normale. Cela permet de déterminer les années normales, déficitaires ou excédentaires en température. La figure 5 montre l'évolution des températures moyennes annuelles autour de la moyenne de la série, de l'écart-type plus un ($\sigma+1$) et écart-type moins un ($\sigma-1$).

Figure 5: Caractéristiques des températures moyennes annuelles à Bobo et Gaoua



Source : ANAM 2021

A travers la figure 5, on remarque que les température moyennes annuelles sont globalement maintenues entre la droite de l'écart-type plus un ($\sigma+1$) et celle de l'écart-type moins un ($\sigma-1$), avec une fluctuation autour de la moyenne de la période de référence. Cela traduit une situation où les températures moyennes annuelles sont plus ou moins normales (douces) malgré leur variabilité. En se fondant sur le principe

de la loi normale, la station de Gaoua a enregistré seulement six (06) années déficitaires (1989,1992,1994, 1995, 2000,2008), trois années excédentaires (1991, 2005, 2016), le reste des années étant normales. Quant à la station de Bobo, elle a enregistré six années déficitaires (1989,1991, 1992, 1994, 1995, 1999) et six autres excédentaires (2002, 2003,2004,2005, 2016,2017), le reste des années étant normales. Certaines années en l'occurrence 2005 et 2016 ont eu les mêmes caractéristiques aussi bien à Gaoua qu'à Bobo où elles se sont toutes révélées années chaudes. Aussi, 1989, 1992, 1994, 1995 sont révélées déficitaires au niveau des deux stations. L'année 1991 aura été une année de grande variabilité spatiale en termes de température pour avoir été excédentaire à Gaoua et déficitaire à Bobo.

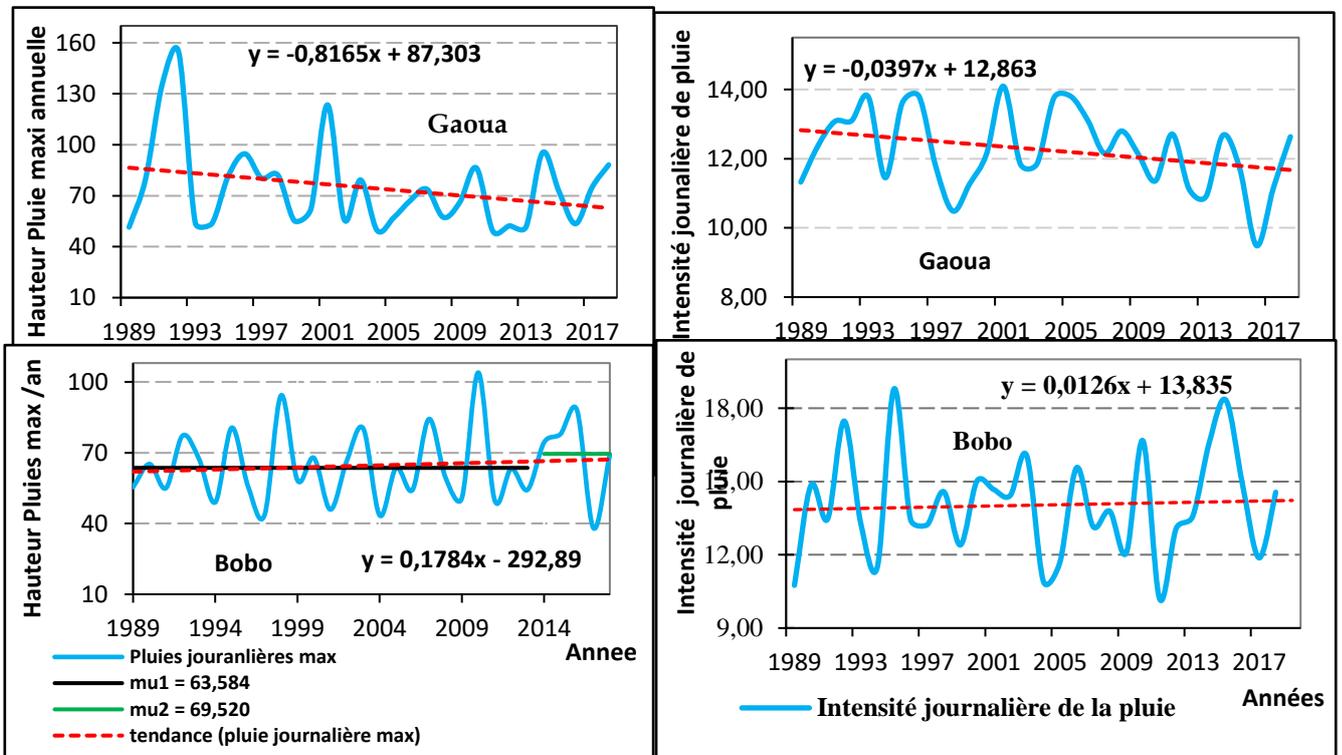
La description de la dynamique climatique dans la zone d'étude s'intéressera dans les lignes qui suivent, à l'analyse des événements pluviométriques extrêmes

3.3. Evolution des extrêmes pluviométriques

3.3.1. Intensité des fortes pluies

La quantité de pluies journalières maximales sur une année est un indicateur de l'intensité des fortes précipitations (GIZ, 2021 p .10). Aussi, la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (intensité moyenne des pluies) permet de rendre compte de l'intensité journalière de la pluie au cours d'une année. Ces deux indices sont utilisés ici pour caractériser l'intensité des fortes pluies dans la zone d'étude. La figure 6 montre l'évolution de ces deux indices sur la période d'étude (1989-2018).

Figure 6: Hauteurs de pluies journalières maximales et intensité journalière de pluie



Source : ANAM, 2021

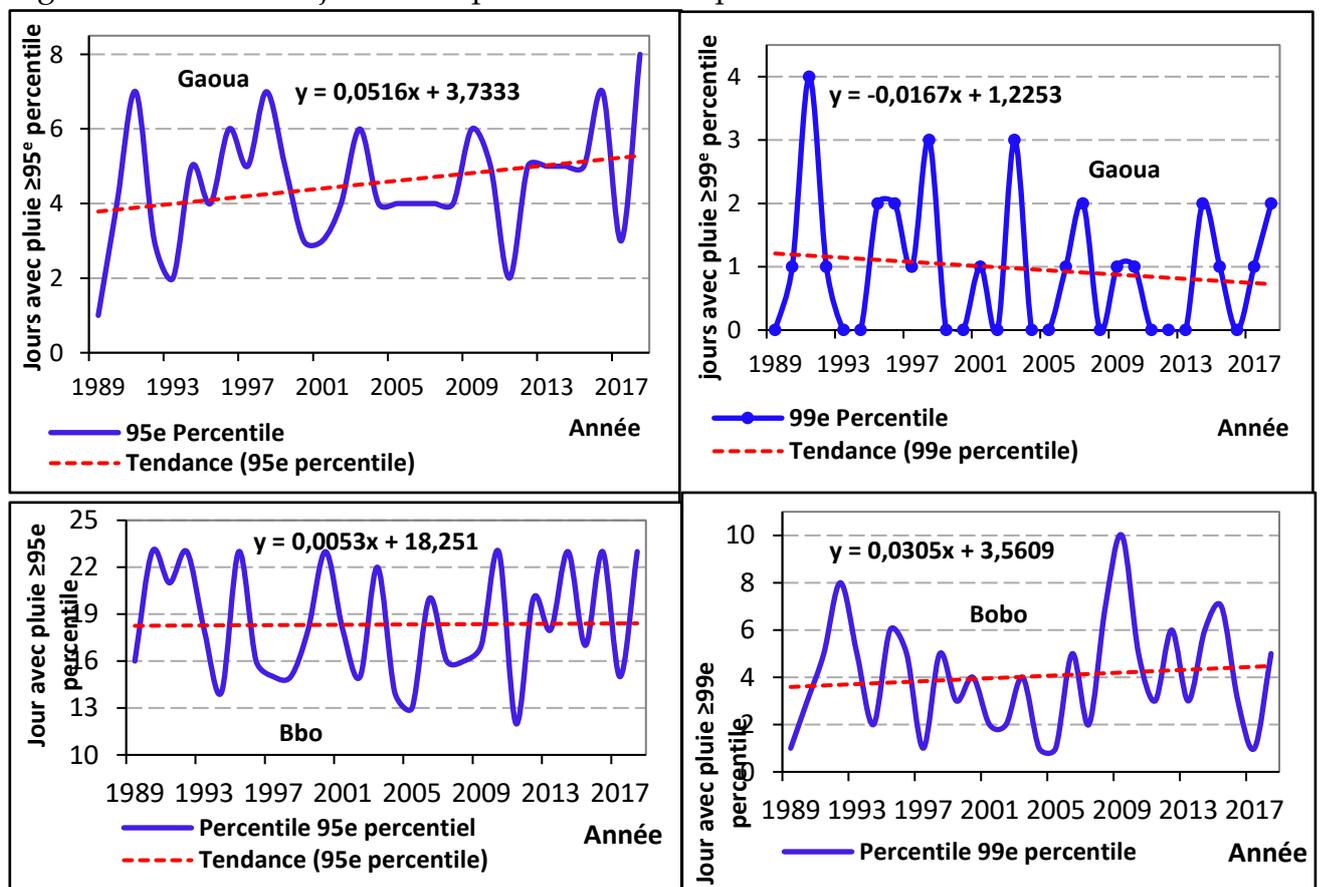
La figure 6 montre une tendance à la baisse aussi bien de l'intensité des pluies journalières maximales ainsi que de la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (intensité moyenne de pluie) à la station de Gaoua entre 1989 et 2018. A la station de Bobo par contre, ces deux indices connaissent une tendance à la hausse sur cette même période. Ce résultat amène à dire que bien que ces deux stations soient situées dans le même domaine climatique, la pluviométrie est de plus en plus intense dans la zone de Bobo contrairement à celle de Gaoua où elle est de moins en moins intense. Cela pourrait s'expliquer par la position latitudinale de la station de Bobo et de Gaoua, soient respectivement 11°10' N et 11°20' N. En effet, la latitude est un facteur déterminant dans les caractéristiques climatiques, en l'occurrence pluviométrique des zones. Afin de recueillir plus d'informations sur les caractéristiques des extrêmes pluviométriques, la fréquence des pluies extrêmes est analysée à travers des indicateurs de fréquence des fortes pluies, dont le nombre de jours pluies supérieur au seuil de 50mm par an, le 95e et le 99e percentile.

3.3.2. *Fréquence des fortes pluies*

La fréquence des événements climatiques extrêmes est souvent mise en évidence par le nombre de jours dépassant un certain seuil. Dans ce travail, le nombre de jours avec une pluviométrie dépassant le 95e et celui dépassant le 99e percentile ont été retenus. Habituellement, le 95e percentiles caractérise les événements très fortes ou intenses et le 99e percentiles les événements extrêmes (KODJA D. J.2018

p.154). La figure 7 présente l'évolution de ces indices sur la période d'étude.

Figure 7 : Nombre de jours avec pluie ≥95e et 99e percentile à Gaoua et Bobo

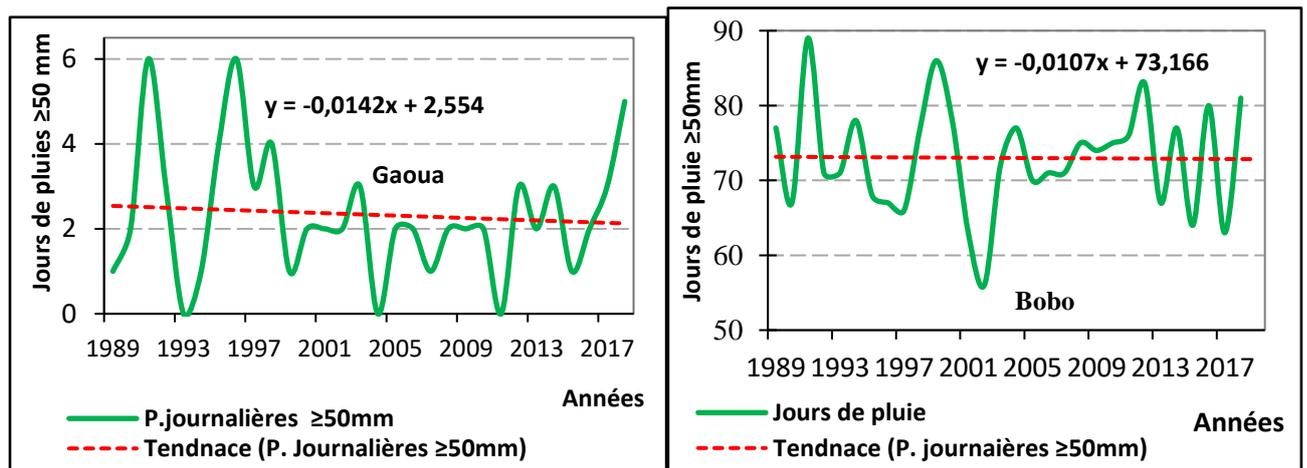


Source : ANAM, 2021

L'analyse de la figure 7 montre deux situations différentes dans les deux (02) stations. A Bobo, les pluies intenses (pluie $\geq 95^e$ percentile) ainsi que celles extrêmes (pluie $\geq 99^e$ percentile) ont une tendance à la hausse sur la période d'étude. A Gaoua par contre, seul l'indice des pluies intenses indique une tendance à la hausse. Celui des pluies extrêmes montre une tendance baissière. Bien que ces tendances soient faibles (en témoigne les coefficients de régression), ces indices montrent que la zone de Bobo enregistre plus de fortes pluies sur la période d'étude comparativement à Gaoua.

Outres, les seuils centiles, les pluies journalières dont les hauteurs atteignent certains seuils fixes sont dommageables pour les activités humaines ainsi que le milieu physique. Dans les zones d'étude, les pluies de 50mm et plus sont reconnues pour être dommageables au milieu physique et aux activités humaines à travers les ruissellements ou les inondations (OUANDE M., 2021 p.137). Ainsi, l'évolution du nombre de jours avec une pluviométrie supérieure ou égale à 50mm, valeur seuille à partir de laquelle les pluies sont fortement dommageables dans la zone ont été analysées. La figure 8 présente la dynamique de ces tranches pluviométriques.

Figure 8: Nombre de jours avec pluies ≥ 50 mm par an



Source : ANAM 2021

La figure 8 montre une tendance à la baisse du nombre de jours avec une pluie supérieure ou égale 50mm à la station de Gaoua et celle de Bobo- Dioulasso entre 1989 et 2018. Ce constat amène à dire que l'avènement des pluies très fortes ont connu une baisse dans le secteur d'étude au cours de la période de référence.

Même si les pluies d'une telle hauteur deviennent moins fréquentes, elles restent tout de même des événements redoutables quand ils surviennent sur des jours successifs. Pour l'évolution de la fréquence et de l'intensité des indices d'extrêmes, aucune tendance significative n'a été détectée au niveau de chacune des deux stations après les avoir soumis au test de tendance de Mann-Kendall. Cependant, les pluies journalières maximales par an ont enregistré une rupture à la hausse à la station de Bobo à partir de 2013 (cf. fig.6).

4. Discussion

Les paramètres climatiques analysés dans cette étude sont la pluviométrie et les températures. En effet, en Afrique Sub-Saharienne, la pluviométrie et les températures sont les deux facteurs qui caractérisent le mieux le climat et son évolution (ROUAMBA S., 2017 p.4). Pour la pluviométrie, les résultats obtenus montrent une légère tendance à la hausse des cumuls annuels à Bobo et à la baisse à Gaoua. A contrario, le nombre de jours pluvieux présente une tendance à la hausse à Gaoua tandis que la station de Bobo enregistre une tendance à la baisse. La légère tendance à la baisse des cumuls de pluies notée à la station de Gaoua dans le domaine soudanien du Burkina à partir de la décennie 1990 ne sont pas en conformité avec les résultats obtenus par Y. S. C. SOME (2018 p.27) pour la période de 1983 à 2016 et, G. KAMBIRE et al (2022 p.116) à la même station pour la période de 1990 à 2019. Toutefois, la hausse du nombre de jours pluvieux sont corroborés par les conclusions des mêmes auteurs. Aussi, la tendance à la hausse des cumuls de pluies à Bobo depuis les années 1990 corrobore-t-elle le résultat de M. OUANDE (2021 p.140) pour la période de 1989 à 2018 et de LAME (2012 p.22). Par contre, elle n'est pas en conjonction avec M. OUANDE (2015 p.50) pour la même station et pour une autre période (1984 à 2013). Par ailleurs, ce résultat est conforme à celui de B.A. SIRIMA, (2021 p.58) qui a mis en évidence une tendance à la hausse des cumuls et du nombre de jours pluvieux entre 1989 et 2019 dans la même zone à la station de Sindou. La contradiction de la direction d'évolution des cumuls pluviométriques dans la zone d'étude pourrait ainsi s'expliquer par la différence des périodes retenue pour les analyses. En effet, la tendance à la hausse est vraisemblablement la tendance globale des cumuls de pluies dans le secteur au cours de ces dernières décennies. Quant à la variabilité des cumuls pluviométriques dans le domaine soudanien, elle ne souffre d'aucune contradiction : elle est révélée par maints auteurs dont M. OUANDE (2015p.52), de LAME (2012 P.20) et de GIZ (2021 p.19) à la station de Bobo et de Gaoua respectivement. S'agissant des températures moyennes annuelles, leur variabilité et la tendance au réchauffement du domaine soudanien révélés par les analyses corroborent les conclusions de DIPAMA J-M. (2016 p.114) et de LAME (2012 p. 24) qui précisent qu'il y a un relèvement global des températures dans tous les domaines climatiques du Burkina Faso au cours de les période 1981- 2010 et 1980-2010 respectivement. Pour ce qui concerne l'évolution des fortes pluies, l'analyse de leur intensité et leur fréquence dans le secteur d'étude donne des tendances diversifiées suivants l'indice utilisé et la station considérée. Pour l'intensité, les analyses révèlent une légère tendance à la hausse des hauteurs des pluies journalières maximales et de la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (Intensité moyenne de pluie) à la station de Bobo. A la station de Gaoua par contre ces deux indices connaissent une tendance baissière. Pour ce qui est de la fréquence, les pluies supérieures au 95e percentile des valeurs de la série analysées (soit 19,8mm pour Bobo et 40mm pour Gaoua affichent une tendance à la hausse aussi bien à Gaoua qu'à Bobo-Dioulasso. Pour les pluies supérieures au 99e percentile, elles indiquent une hausse à la station de Bobo (43,4mm) et une baisse à Gaoua (66,6mm). Les pluies journalières supérieures à 50mm affichent une baisse au niveau de chacune des deux stations. Malgré ces variations de la tendance d'évolution de l'intensité et de la

fréquence des fortes pluies, le comportement global qui se dégage est la tendance à la hausse de leur fréquence. Ce résultat corrobore celui de GIZ (2021 p.17) qui a relevé que l'intensité et la fréquence des fortes pluies ont augmenté ces dernières décennies dans presque toutes les régions du Burkina Faso. C'est aussi l'avis de P. N. KABORE et al. (2017 p.92) qui a révélé une recrudescence des pluies intenses et des pluies extrêmes dans les domaines sahéliens et soudano-sahéliens dans la région du centre-Nord durant la période de 1987 à 2011. Mais, pour ce qui concerne l'intensité des pluies, il convient de nuancer car la station de Gaoua enregistre une tendance à la baisse qui pourrait s'expliquer par la période couverte pour les analyses. GWP (2010 p.21) embrasse plus large en rappelant que les caractéristiques clés des changements climatiques au Burkina Faso sont liées à la variabilité et aux phénomènes extrêmes, et non pas uniquement aux conditions moyennes modifiées. Des résultats similaires sont obtenus dans d'autres pays de l'Afrique de l'Ouest en l'occurrence au Bénin par C. G. ETENE et al (sd. p.11) qui a indiqué que les extrêmes pluviométriques ont connu une augmentation sur la période 1960-2010 et les hauteurs des pluies maximales journalières annuelles, une évolution significative à partir de 1990 dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonoua.

Conclusion

Au Burkina Faso, le secteur agricole joue un rôle vital dans l'économie du pays et les moyens de subsistance des populations. Cependant, l'agriculture est de plus en plus compromise par les effets adverses du changement climatique. De ce fait, connaître la dynamique des paramètres climatiques dans la région « nourricière » du pays permet de faire un meilleur choix des stratégies d'adaptation à envisager. Au terme de l'analyse, le constat global est que les variables climatiques qui conditionnent en grande partie les rendements agricoles, en l'occurrence les cumuls pluviométriques et le nombre de jours pluvieux connaissent une amélioration dans cette partie du Burkina Faso sur la période considérée (1989-2018). Toutefois, la hausse des températures moyennes annuelles, la forte variabilité interannuelle des pluies et la recrudescence des événements pluviométriques extrêmes affectent négativement l'activité agricole de la zone, en raison de son lien étroit avec ces paramètres. Par exemple, la fréquence accrue des sécheresses révélées par les analyses est une contrainte majeure à la production agricole en ce sens qu'elles réduisent les rendements de certaines spéculations en cas de coïncidence avec les semis, la montaison des cultures ou la maturation des épis. Elles nuisent également à la qualité des sols, facteur essentiel de la production, à travers la réduction de leur fertilité. Finalement, les mauvais rendements du secteur agricole pourront compromettre le développement économique et social du pays en ce sens que l'agriculture constitue le premier secteur pourvoyeur non seulement d'emploi et de revenus aux populations, mais aussi de devises à l'Etat. De ce fait, l'adaptation qui nourrit l'espoir du pays confronté aux aléas climatiques est plus qu'une nécessité. Toutefois, le succès de cette adaptation repose sur un choix de stratégies d'adaptation convenables et le renforcement de la capacité d'adaptation des acteurs. Cela nécessite la prise en compte des perceptions des acteurs sur le climat, ainsi que leurs savoir-faire en matière d'adaptation.

Références bibliographiques

- ABV-OMM-GWP/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, 158 p.
- ALI Abdou., 2010. « La variabilité et les changements climatiques au Sahel » in le Sahel face aux changements climatiques, enjeux pour un développement durable, Centre Régional Agrhymet, bulletin mensuel, Numéro spécial, Niamey (Niger) pp-17-20.
- BEDOUM Abdoulaye, BIONA Clobite Bouka, Jean Pierre Bell, ADOUM Issak, MBLAKE Robert et BAOHOUTOU Laohoté. 2017. « Évolution des indices des extrêmes climatiques en République du Tchad de 1960 à 2008 » in Atmosphere-Ocean, pp 42-56
- SCHLEYPEN Jessie Ruth, SAEED Fahad, DAYAMBA Sidzabda Djibril Dayamba, COULIBALY O. Jean David, D'HAEN Sarah Ann Lise. 2019. Impacts des changements climatiques sur l'économie (produit intérieur brut et valeurs ajoutées sectorielles) et sur la productivité agricole au Burkina Faso, rapport d'étude 60p.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) .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.
- DIPAMA Jean-Marie. 2016. « Changement climatique et développement durable au Burkina Faso : stratégies de résilience basées sur les savoirs locaux » in Innovation, Environnement, Développement en Afrique, rapport d'étude, 35 p.
- ETENE Cyr Gervais, AROUNA Oussen, DONOU Blaise, KODJA Domiho Japhet et BOKO Michel. (sd). « Extrêmes hydro-pluviométriques et dégradation des terres autour du fleuve l'Ouémé à Bonou au Bénin ». capacity and action in response to global climate change, Climate Policy, 7 :4, pp 304-316.
- Global Water Partnership/Afrique de l'Ouest. 2010. Changement climatique : Inventaire des stratégies d'adaptation aux changements climatiques des populations locales et échanges d'expériences de bonnes pratiques entre les différentes régions au Burkina Faso, rapport d'étude, 85p
- KABORE Pamalba Narcise, OUEDRAOGO Amadé, SANON Moussa, YAKA Pascal, SOME Léopold. 2017. « Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015 » in Climatologie, vol. 14, pp 82-95.
- KAMBIRE Gouroumana ; SOME Noël Touobewere ; BAGRE Mathias Philippe et SOME Yélézouomin Stéphane Corentin. 2022. « Constat scientifique et perception paysanne des évolutions récentes du climat dans la commune de Nako : analyse comparée et stratégies endogènes d'adaptation » in Géovision N°007, pp. 112-127.
- KODJA Domiho Japhet. 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.
- KPAN Oulaï Jean Gautier. 2017. Incidence de la variabilité climatique sur les ressources en eau, le développement agricole et la santé des populations dans le sud-est de la côte d'ivoire et prospectives : cas de la zone littorale d'Abidjan à Aboisso, Thèse de doctorat en sciences de la terre, Spécialité Hydrogéologie, Option Ressources en eau et climatologie, Université Félix Houphouët BOIGNY, 290 p.
- Laboratoire d'Analyses Mathématiques des Equations (LAME), 2012. Elaboration du PANA Programmatique du Burkina Faso : Etudes de modélisation climatique, d'évaluation des risques et analyse de la vulnérabilité aux changements climatiques, rapport d'étude, 193 p.
- NAKOULMA Guillaume. 2021. Modélisation des phénomènes climatiques extrêmes en Afrique de l'ouest et élaboration de scénarios climatiques à des fins d'études d'impact et de vulnérabilité au changement climatique, Thèse de doctorat unique de géographie option : gestion des ressources naturelles, université joseph ki-zerbo 264 p.
- ONERC. 2008. Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France rapport d'étude, 406p.
- OUANDE Moumouni. 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, 415 p.
- OUANDE Moumouni. 2015. Impacts de la variabilité climatique sur l'habitat naturel de CARAPA PROCERA dans la région des Cascades : cas des forêts galeries dans la commune rurale de Bérégadougou. Mémoire de master de recherche, gestion des ressources naturelles, université OUAGA1 Pr JOSEPH KI-ZERBO 125 p.
- OUOBA Awa Pouyala. 2013. Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè, Thèse de doctorat unique de géographie, Université de Ouagadougou 305p.
- SARR Alioune Badara, CAMARA Moctar. 2017. « Evolution Des Indices Pluviométriques Extrêmes Par L'analyse De Modèles Climatiques Régionaux Du Programme CORDEX : Les Projections Climatiques Sur Le Sénégal » in European Scientific Journal Vol.13, N°.17, p. 206-222
- SIRIMA Badaye Abdoulaye. 2021. Le comblement du lac de Tengrela et ses impacts environnementaux, thèse de doctorat unique de géographie, Option Gestion des Ressources naturelles, Université JOSEPH KI-ZERBO 376p.
- SOME Yélézouomin Stéphane Corentin. 2018. Cartographie intégrée des risques dans le secteur de l'élevage au Burkina Faso, Rapport d'étude 90p.
- WADE Cheikh Tidiane, TOURE Oussouby, DIOP Mamadou. 2015. Gestion des risques climatiques : recherche pour des futurs résilients au climat, rapport d'étude 96 P.