



Variabilité Spatio-Temporelle de la Pluviométrie dans les Zones Soudaniennes, Soudano-Sahélienne et Sahélienne du Burkina Faso

Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpoa Karambiri
Institut National des Sciences et des Sociales, Burkina Faso
Raogo Noël Gansaonre
Centre universitaire de Gaoua, Burkina Faso

Doi: [10.19044/esipreprint.3.2023.p1](https://doi.org/10.19044/esipreprint.3.2023.p1)

Approved: 02 March 2023
Posted: 06 March 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Karambiri B.L.C.N. & Gansaonre R.N. (2023). *Variabilité Spatio-Temporelle de la Pluviométrie dans les Zones Soudaniennes, Soudano-Sahélienne et Sahélienne du Burkina Faso*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.3.2023.p1>

Résumé

L'évolution de la pluviométrie dans la zone sahéenne a connu d'importante variation depuis les années de sécheresse. Cette zone a été considérée par de nombreux auteurs comme la plus affectée par les variations climatiques de ce siècle. Cependant, à l'intérieur de cette même zone, les paramètres climatiques ont des comportements très variables. Ainsi, cette étude a pour objectif d'analyser la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie au Burkina Faso en tenant compte de leur distribution selon les zones climatiques. Pour atteindre cet objectif, les quantités de pluie annuelle de 1921 à 2018 des trois zones climatiques que compte le Burkina Faso ont été mobilisées. Il s'agit des données pluviométriques de Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. Ainsi, pour déterminer les différences de variations temporelles et spatiales de la pluviométrie, les indices de précipitation de chaque zone climatique ont été calculés, puis présenté sous forme de graphiques. Cela a permis d'identifier les années et périodes humides ou sèches. De plus, les ruptures pluviométriques ont été calculées à l'aide du test de Pettitt, permettant de déterminer les différents cycles de l'évolution de la pluviométrie dans les différentes zones climatiques du pays. Les résultats montrent que la pluviométrie a connu une régression depuis 1921 dans les trois localités, mais avec une forte tendance à la baisse à Bobo-Dioulasso où

le coefficient directeur de la droite de tendance linéaire est de 0,01. Cependant à Dori la sécheresse est fréquente et rude, puisqu'on y enregistre deux années extrêmement sèches (1926 et 1987). Outre ces résultats, le test de Pettitt a permis d'identifier des ruptures pluviométriques en 1969 à Dori, en 1970 à Bobo-Dioulasso, puis en 1976 à Ouagadougou. L'ensemble de ces résultats montre une différence d'évolution de ce paramètre dans les différentes zones climatiques. Bien qu'étant importante dans les trois zones d'étude, cette variation a un impact important dans zones sahélienne au regard des faibles quantités de pluie qui y tombent et de la fragilité des écosystèmes.

Mots-clés: Zone climatique, variation spatiotemporelle pluviométrie, Burkina Faso

Spatio-Temporal Variability of Rainfall in the Sudalan, Sudano-Sahelian and Sahelian Zones of Burkina Faso

Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpoa Karambiri
Institut National des Sciences et des Sociales, Burkina Faso
Raogo Noël Gansaonre
Centre universitaire de Gaoua, Burkina Faso

Abstract

The evolution of rainfall in the Sahelian zone has undergone significant variation since the drought years. This zone has been considered by many authors as the most affected by climate variations this century. However, within this same zone, the climatic parameters have very variable behaviors. Thus, the objective of this study is to analyze the spatio-temporal variability of rainfall in Burkina Faso by taking into account their distribution according to climatic zones. To achieve this objective, annual rainfall amounts from 1921 to 2018 for the three climatic zones of Burkina Faso were mobilized. These are the rainfall data for Bobo-Dioulasso, Ouagadougou and Dori. Thus, to determine the differences in temporal and spatial variations in rainfall, the rainfall indices for each climatic zone were calculated and then presented in graphical form. This made it possible to identify wet and dry years and periods. In addition, the rainfall breaks were calculated using the Pettitt test, making it possible to determine the different cycles of rainfall evolution in the different climatic zones of the country. The results show that rainfall has been decreasing since 1921 in the three localities, but with a strong downward trend in Bobo-Dioulasso where the directing coefficient of the linear trend line is 0.01. However, in Dori,

drought is frequent and severe, with two extremely dry years recorded (1926 and 1987). In addition to these results, the Pettitt test identified rainfall breaks in 1969 in Dori, in 1970 in Bobo-Dioulasso, and in 1976 in Ouagadougou. All of these results show a difference in the evolution of this parameter in the different climatic zones. Although this variation is significant in the three study areas, it has a major impact in the Sahelian zones, given the small amounts of rain that fall there and the fragility of the ecosystems.

Keywords: Climate zone, spatiotemporal variation, rainfall, Burkina Faso

I. Introduction

La région sahélienne est considérée comme la partie du monde la plus affectée par les phénomènes climatiques les plus extrêmes durant le XX^{ème} siècle. Cette région à laquelle appartient le Burkina Faso a connu des périodes de sécheresse et de forte pluviométrie, Sambou et Paturel (2018). Ainsi, durant les années 1910, 1940, 1970 et 1980, la zone sahélienne a connu de graves sécheresses qui ont fragilisées les systèmes de production et rendu vulnérables les populations. À cette série de sécheresses qui a marqué pendant longtemps le recul de la pluviométrie a succédé une période de reprise pluviométrique depuis les années 1990. Ces variations climatiques observées à l'échelle de la région sahélienne s'imbriquent dans des changements globaux de l'environnement à l'échelle de la planète. Ainsi, l'évolution des paramètres climatiques, notamment de la pluviométrie, a un effet considérable aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement. Au Burkina Faso, les constantes variations du climat ont affecté la plupart des secteurs de production. En effet, les principaux secteurs de production, pourvoyeurs d'emplois, de ressources alimentaires et économiques pour plus de 80 % de la population, que sont l'agriculture et l'élevage, ont été profondément impactés eu regard à leur forte dépendance à la pluviométrie. La rudesse de ses impacts sur les populations et leurs activités économiques nécessite un suivi constant de l'évolution du climat dans la perspective d'anticiper les éventuelles variations, Ali et Lebel (2009).

Plusieurs études ont été menées sur la dynamique climatique dans le sahel Ozer et al., (2003) ; Ozer et al. (2010) ; Nicholson et al. (2000). Ces études ont parfois révélé une reprise pluviométrique dans l'ensemble de la région sahélienne Sene et Ozer (2002), alors que dans d'autres cas, elles ont montré une persistance de la sécheresse malgré le regain pluviométrique des dernières décennies, Dai et al. (2004). À ce propos, Ozer et al. (2010) insiste sur la nécessité de nuancer les propos quant à la fin de la période sèche dans le sahel. Tout en demeurant dans une situation de déficit climatique permanente, les variations spatiales et temporelles de la pluviométrie restent

importantes à l'intérieur de cette zone climatique, Nicholson (2000). Ainsi, la distribution des isohyètes montre une répartition des moyennes pluviométriques dans chaque zone de la région sahélienne Le Houerou (1980). Au Burkina Faso, cette distribution a permis de distinguer trois zones climatiques dont la zone sahélienne avec une précipitation supérieure ou égale à 500 mm, la zone nord-sahélienne (précipitation supérieure à 900 mm) et la zone soudanienne dont les précipitations varient entre 900 et 1200 mm. Suivant la distribution pluviométrique selon chacune de ces zones, on relève une distribution de types de végétation et de productions agropastorales qui sont fortement dépendantes des quantités de pluies reçues. Au regard de leur quantité de plus en plus réduite suivant le gradient sud nord, les populations pratiquent des activités de productions agropastorales en fonction des quantités de pluies qui tombent. Ainsi, d'une année à l'autre la variation des quantités de pluies à l'intérieur d'une même zone climatique influence négativement les productions. Par ailleurs, d'une zone à une autre le stress hydrique ne s'exprime pas de la même manière du fait des besoins en eau. C'est pourquoi, il convient d'étudier les différences de variation des moyennes pluviométriques dans ces différentes zones.

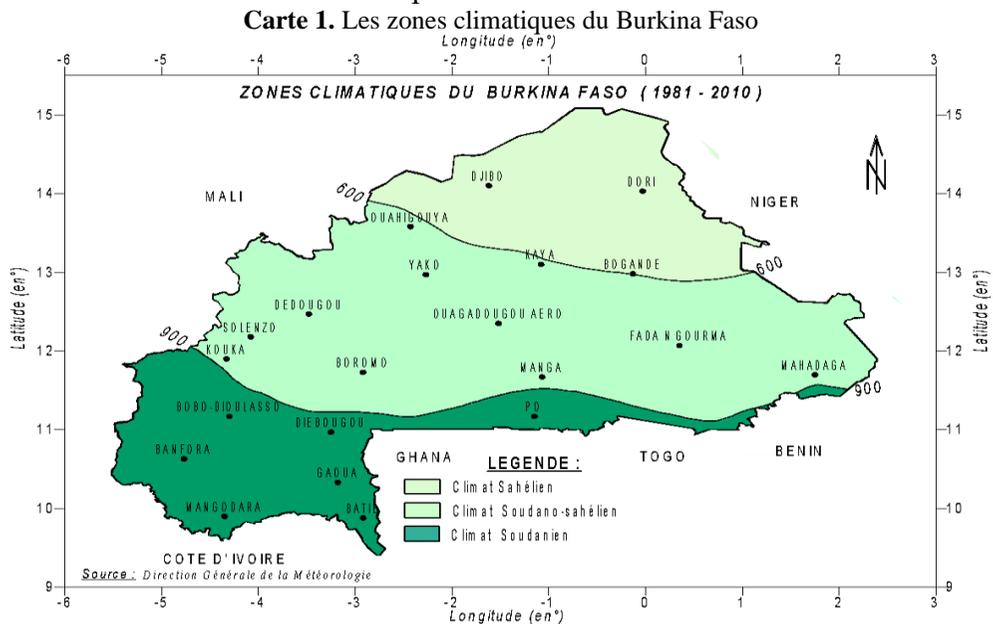
Ainsi, l'objectif de cette étude est d'analyser la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie au Burkina Faso en tenant compte de leur distribution selon les zones climatiques. Elle vise à établir niveau de vulnérabilité pluviométrique de ces zones les unes par rapport aux autres. En effet, la littérature sur le climat dans la zone sahélienne est abondante, cependant la plupart des travaux n'ont pas pris en compte la distribution pluviométrique suivant les zones climatiques. Les projections climatiques actuelles prévoient de fortes variations climatiques avec une tendance à l'accentuation des épisodes de sécheresse surtout dans la zone sahélienne GIEC (2007). C'est pourquoi, il est pertinent, malgré les différences de moyenne pluviométrique entre les zones climatiques, de procéder à une comparaison de l'évolution de la pluviométrie des zones sahélienne et soudanienne.

II. Présentation de la zone d'Étude

Le site de la présente étude est le Burkina Faso. Il est situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest. Son climat de type tropical à saisons alternées dont une longue saison sèche et une courte saison pluvieuse. Son climat résulte d'un mécanisme global assez complexe régi par le balancement saisonnier du Front intertropical (FIT) qui favorise les évènements pluvieux. Les totaux pluviométriques varient en fonction des domaines climatiques allant de 600 à 1100 mm du nord au sud Wetta et al. (2015). L'arrivée des pluies est liée d'une part aux masses d'air issues des anticyclones des Açores et du Sahara et d'autre part de l'île de Sainte-Hélène qui soufflent respectivement du

nord-est vers le sud-ouest et du sud vers l'est. La zone de rencontre de ces deux masses d'air antagonistes constitue la zone de convergence intertropicale (ZCIT). La surface de contact entre les masses d'air produit une trace au sol appelée front intertropical (FIT). Il s'agit en effet d'une convergence (CIT) au regard des conditions aérologiques des masses d'air qui la composent. Son passage sur le territoire burkinabè entraîne l'arrivée des pluies, Dipama (2005). Elle aborde la pointe sud du Burkina Faso à partir de mars. La CIT migre en latitude de manière progressive pour arroser les autres parties du pays au mois de mai. En juin, la convergence couvre la totalité du pays. Dès octobre, la CIT amorce sa descente, marquant la fin de la saison pluvieuse.

Le territoire du Burkina Faso est subdivisé en trois zones climatiques que sont les zones sahéniennes, nord-soudanienne et sud-soudanienne (carte 1). Située dans la partie nord du pays, la zone sahénienne occupe environ 25 % du territoire national Dipama (2005). Elle est la moins arrosée avec une pluviométrie moyenne annuelle de 500mm. La zone nord-soudanienne est située entre les isohyètes 600 mm et 900mm. Sa pluviométrie moyenne annuelle est de 800 mm d'eau par an, répartis sur 4 mois. La zone sud-soudanienne occupe l'ouest et le sud du pays. Sa pluviométrie moyenne annuelle est de 1000 mm d'eau par an.



Le Burkina Faso est caractérisé par une forte variation spatiotemporelle de la pluviométrie. On enregistre une fluctuation des isohyètes 600 et 900 mm qui constituent les limites de transition entre les trois zones climatiques du pays (carte 2). Ainsi, pendant les décennies 1991-

sahélienne, nord soudanienne et sud soudanien. Les données ont été fournies par l'Agence de la Météorologie nationale (ANAM). Le traitement et l'analyse de ces données a mobilisé différents outils et méthodes.

2) Le traitement et l'analyse des données

a) Indice standardisé de précipitation

Plusieurs auteurs ont utilisé l'indice standardisé de précipitation (ISP) pour caractériser l'évolution de la pluviométrie, Bodian (2014) ; Soro et al. (2014) ; Descroix et al. (2015). Cet indice a été mis au point par Mckee et al. (1993). Contrairement à la multitude d'indices qui servent à caractériser la sécheresse, il présente l'avantage d'être stable, cohérent statistiquement et plus adapté pour la caractérisation du climat, particulièrement pour la détection des épisodes de sécheresse. Ainsi, de la comparaison établie par Mishra et Singh (2010), il est ressorti que parmi les indices les plus utilisés pour l'étude de la sécheresse, l'ISP présente le plus d'avantages. Selon ces auteurs, l'ISP est capable de détecter l'apparition d'une sécheresse, ses variations spatio-temporelles de manière cohérente. Sa nature probabiliste favorise la comparaison des résultats de zones différentes, Soro et al. (2014). Dans le cadre de cette étude, l'ISP a été calculé afin de mettre en évidence la fréquence des anomalies pluviométriques (positives ou négatives) des zones climatiques étudiées. La démarche qui consiste donc à normaliser (ou « standardiser ») les données de pluviométrie à l'aide d'une transformation centrée réduite. Il est calculé selon la formule suivante :

$$x'_i = \frac{x_i - \underline{x}}{\sigma(x)}$$

où : x'_i = anomalie centrée réduite pour l'année i

x_i = quantité mensuelle ou annuelle des précipitations dans une certaine année

\underline{x} = la moyenne annuelle de la série.

$\sigma(x)$ = l'écart type de la série

Selon Mckee et al. (1993), une sécheresse sévit quand l'indice présente de façon continue une valeur inférieure ou égale à -1. Une période est considérée comme humide lorsque la valeur de l'indice est supérieure ou égale à 1 (tableau n°1). On distingue alors pour chaque épisode de sécheresse ou d'humidité une durée, avec un commencement et une fin, et une intensité pour chaque mois durant lequel l'épisode se poursuit (OMM, 2012).

Tableau 1. Valeurs de l'indice Standardisé de précipitations et risques associés

Valeur SPI	Intensité
Supérieur ou égal à 2, 0	Extrêmement humide
De 1, 99 à 1,5	Très humide
De 1, 49 à 1,0	Modérément humide
De 0,99 à -0, 99	Proche de la normale
De -1, 0 à -1, 49	Modérément sec
De -1, 5 à -1, 99	Très sec
Inférieur ou égal à -2,0	Extrêmement sec

Source : OMM, 2012.

Les paramètres de dispersion à eux seuls ne suffisent pas à mesurer la variabilité pluviométrique. En effet, ils ne décrivent pas l'évolution temporelle des séries pluviométriques. Ils peuvent être complétés par la détection de ruptures dans les séries pluviométriques.

b) Méthode de détection de rupture

Une « rupture » de stationnarité est définie comme étant un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné Lubes et al. (1994). La détection de rupture dans les séries temporelles permet de vérifier la non-stationnarité des séries pluviométriques et à valider l'hypothèse sur la baisse ou la hausse de la pluviométrie. La littérature sur l'étude de la dynamique climatique a montré que la corrélation rang, le test de stationnarité de Pettitt, la méthode de segmentation de Hubert et la méthode bayésienne de Lee et Heghinian sont fréquemment utilisés par Sambou et Paturel (2018) ; Faye et al. (2015) ; Bodian (2014) et qui ont travaillé sur la puissance et la robustesse de ces différents tests et ont conclu d'une variation des relatives des résultats selon la nature et la longueur des séries étudiées. L'ensemble de ces tests s'appuie sur une hypothèse nulle d'absence de rupture au seuil de 1 %.

Le test de Pettitt est un test non paramétrique ne nécessitant aucune hypothèse de distribution des données. Il permet d'identifier les changements de moyenne ou de variance dans la série étudiée. L'absence d'une rupture dans la série (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (X_i) $i=1$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population. Au cas où l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t, N}$.

Les changements chronologiques qui interviennent dans une série de données climatiques sont mises en évidence par la méthode de segmentation de Hubert. Ce test est particulièrement sensible à un changement de moyenne et, si l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série est rejetée, ils proposent une

estimation de la date de rupture Bodian et al. (2011). La procédure de segmentation des séries chronologiques consiste à découper la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment (s) voisin (s). La procédure de segmentation se présente comme suit :

Toute série x_i où $i = i_1, i_2$ avec $1 \leq i_1 < i_2 \leq N$, constitue un segment de la série initiale des (x_i) avec $i=1, 2, \dots, N$. Toute partition de la série initiale en m segments constitue une segmentation de rang m définit par :

- k , $k=1, 2, \dots, m$ le rang dans la série initiale de l'extrémité du $k^{\text{ième}}$;
- $N_k = i_k - i_{k-1}$ la longueur du $k^{\text{ième}}$ segment ;

La quantité $D_m = \sum_{k=1}^{k=m} D_k = \sum_{k=1}^{k=m} \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x_i - \bar{x})^2$ est l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée (Athadé, 2014).

c) Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977), ne s'exprime pas comme un test statistique classique. Toutefois, elle vise à confirmer ou infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. C'est une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. Elle est fondée sur l'équation suivante :

$$x_i = \mu + \varepsilon_i \quad \mu + \delta + \varepsilon_i \quad \{ \text{avec } i = 1, 2, 3, \dots, \tau \text{ avec } i = 1, 2, 3, \dots, N$$

Les x_i sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance σ^2 . La position de la rupture dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de la moyenne sont représentées respectivement par τ et δ . Le changement éventuel, position et amplitude, correspond au mode des distributions a posteriori de τ et δ . Ainsi, cette méthode fournit la probabilité que le changement se produise au moment τ dans une série où est supposé à priori qu'il y a effectivement un changement à un moment déterminé. Elle donne également une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur δ . La date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible et que la distribution est uni modale, Athadé (2014), Karambiri (2017).

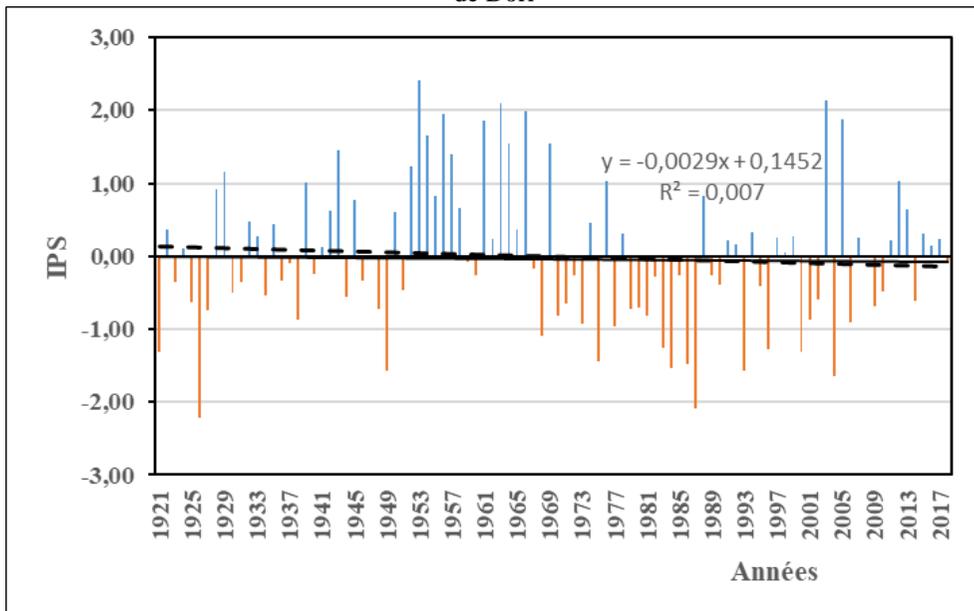
IV. Résultats

1) Évolution du climat à Dori

La moyenne annuelle des totaux pluviométriques de la station synoptique de Dori montre une alternance de déficit et d'excédent pluviométriques. En effet, de 1921 à 2018, il y'a 47 années d'excédent pluviométrique avec des degrés d'humidité différente contre 51 années de

déficit pluviométrique avec des degrés de sécheresse variables d'une année sèche à une autre, comme l'indique la figure 1. Les années humides représentent donc 46,39 % contre 51,54 % d'années sèches sur l'ensemble de la période d'étude. Et 2,06 % des années n'ont connu ni de déficit, ni d'excédent pluviométrique. Le tableau 2 présente la distribution temporelle du comportement de la pluie à Dori.

Figure 1. Variation temporelle de l'indice standardisée précipitation de la station synoptique de Dori



Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

Tableau 2. Distribution temporelle des années de sécheresse de la station de Dori

Intensité de la sécheresse	Nombre d'années	Fréquences des années sèches (%)	Plus longue période de déficit	Fréquence d'années déficitaires (%)
Modérément sec	7 (1986, 1975, 1921, 2000, 1996, 1983, 1968)	7,14	1979-1987	52,05
Très sec	4 (1949, 1984, 1993, 2006)	4,08		
Extrêmement sec	2 (1926, 1987)	2,04		

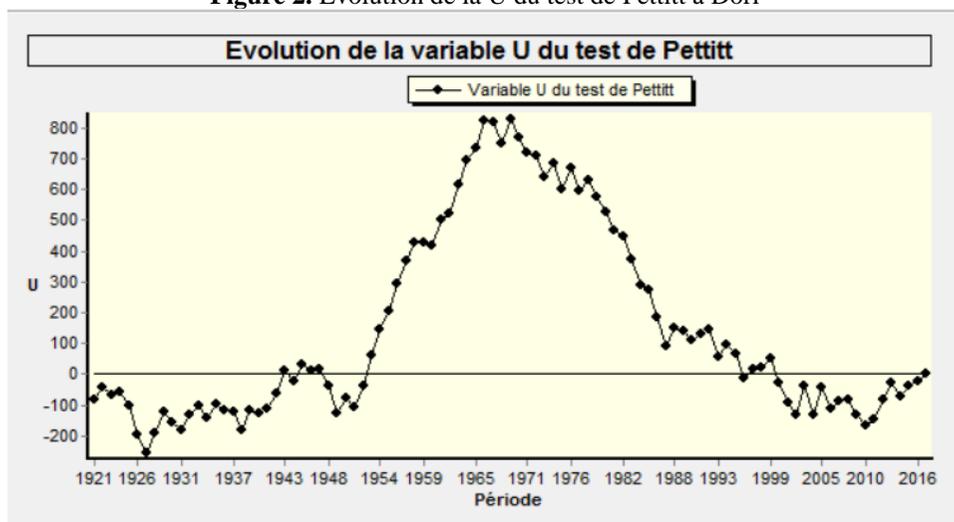
Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

La figure 1 et le tableau 2 montrent une régression continue des quantités de pluies. Les années sèches se répartissent dans le temps sur l'ensemble de la série pluviométrique de l'étude. Treize (13) années, soit environ 13,26 % du nombre d'année d'étude ont connu un déficit pluviométrique assez prononcé. Comme l'indique le tableau, la zone

sahélienne a connu par moment des périodes de sécheresse prolongée. Ainsi, de 1979 à 1987, cette zone était dans un déficit pluviométrique important. C'est d'ailleurs à cette période qu'on enregistre l'année la plus sèche (1987), excepter celle de 1926. Pour davantage appréhender le comportement de la pluviométrie, des moyennes décennales de l'ISP ont été calculées. Sur les neuf décennies et huit ans définis, six décennies (1921-1930 ; 1931-1940 ; 1971-1980 ; 1981-1990 ; 1991-2000 et 2001-2010) se sont révélées être négative.

Le déficit pluviométrique est plus prononcé en 1926 par rapport aux autres années. Cependant, 2012 a enregistré la plus grande quantité d'eau tombée. L'année la plus humide est 1953 et celle la plus sèche est 1926. Selon les normes de l'OMM (2012), 1953 fut une année extrêmement humide tandis que 1926 était une année extrêmement sèche. Cette variation montre des disparités. Effectivement, on constate deux longues périodes d'excédent pluviométriques allant de 1952 à 1958 et de 1961 à 1966. Ce qui veut dire que les années 1960 étaient humides par rapport aux autres années, comme le montre la figure 1. Cette période est suivie d'une succession d'environ 10 années de déficit pluviométrique de 1979 à 1987. Bien avant cette période, la période allant de 1970 à 1973 fut déficitaire. La pluviométrie de la station synoptique de Dori située dans la zone sahéenne n'a pas une tendance détectable. La droite de tendance se confond à l'axe des abscisses, témoignant ainsi d'une forte variation de la pluviométrie dans cette zone. L'application du test de Pettitt permet de voir une rupture pluviométrique en 1969.

Figure 2. Évolution de la U du test de Pettitt à Dori



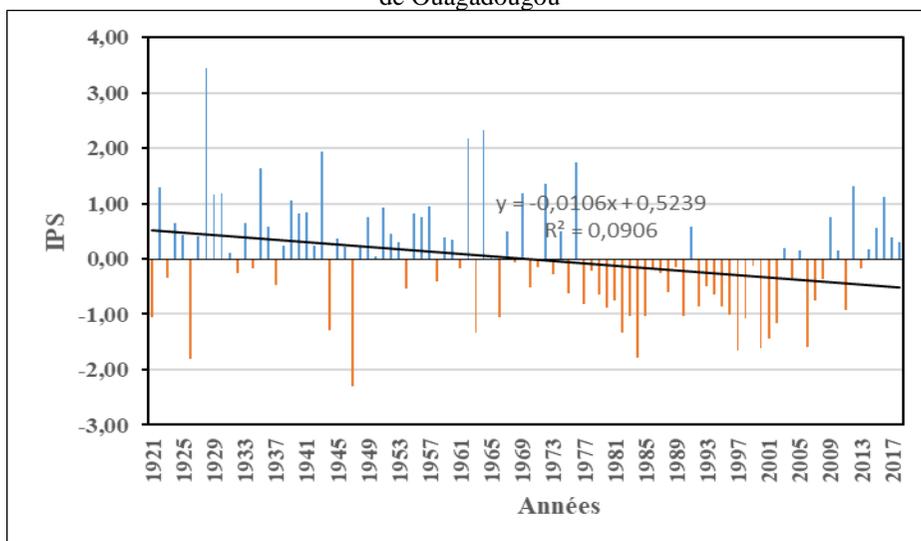
Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

Cette rupture pluviométrique est confirmée par la méthode de Segmentation de Hubert qui divise la série de 1921 à 2018 en trois périodes. Une première période sèche de 1921 à 1951 avec pluviométrie moyenne de 489,80 mm. Une deuxième période relativement plus humide s'étale entre 1952 à 1966 avec une pluviométrie moyenne de 642,28 mn. Enfin une troisième période de 1967 à 2018 qui est la plus sèche de ces trois périodes. La pluviométrie moyenne de cette période est de 470,96 mm.

2) Évolution du climat à Ouagadougou

L'analyse des relevés pluviométriques de 1921 à 2018 a donné des résultats différents avec les stations synoptiques situées dans les autres zones climatiques du pays. En fait, à la station synoptique de Ouagadougou, les années les plus pluvieuses sont concentrées entre 1928 et 1964. Les quantités de pluie durant cette période variaient entre 1299 et 1962 mm. Les années sèches sont concentrées entre 1977 et 2002. Les déficits sont plus prononcés en 1926, 1947, 1984, 1997, 2000 et 2006 avec respectivement 498,6mm, 571,4mm, 587,8mm, 594,1mm et 596,8mm. Entre l'année la plus humide (1964) et l'année la plus sèche (1947), la différence de pluie est de 643,5mm. L'année 1964 est a été une année extrêmement humide et celle 1947 était extrêmement sèche selon les normes de OMM, 2012. Dans l'ensemble de la série, 49 années soit 50 % des années de la période d'étude sont en excès contre 50 % en déficit pluviométrique (confère la figure 3). La tendance générale est à la baisse à Ouagadougou dans la zone nord-soudanienne.

Figure 3. Variation temporelle de l'indice standardisée précipitation de la station synoptique de Ouagadougou



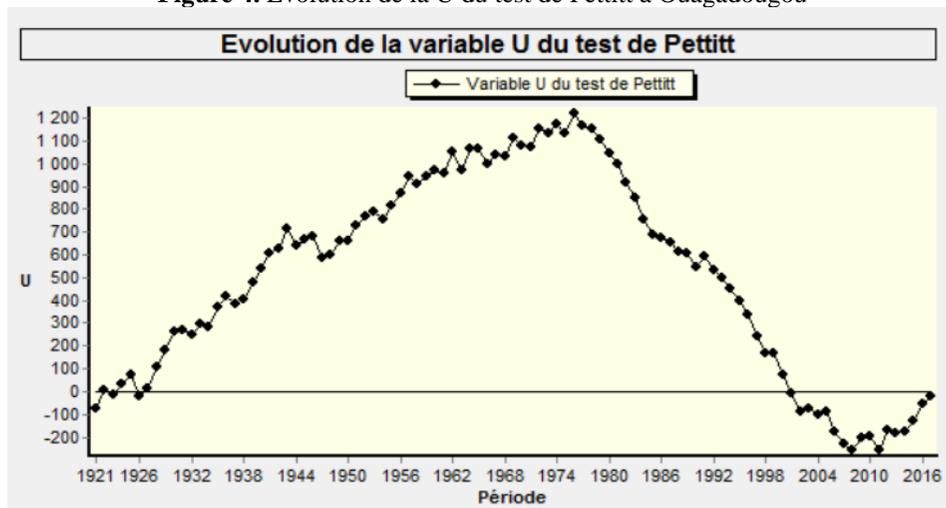
Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

Tableau 3. Distribution temporelle des épisodes de sécheresse dans la zone soudano-sahélienne

Intensité de la sécheresse	Nombre d'années	Fréquences des années sèches (%)	Plus longues périodes de déficit	Fréquence d'années déficitaires (%)
Modérément sec	12 (1921 ; 1944 ; 1963 ; 1966 ; 1982 ; 1983 ; 1985 ; 1990 ; 1996 ; 1998 ; 2001 ; 2002)	12,24	1977-2002	50
Très sec	5 (1926 ; 1984 ; 1997 ; 2000 ; 2006)	5,1		
Extrêmement sec	1 (1947)	1,02		

Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

La tendance générale de l'ISP montre une régression des quantités de pluie qui tombent. Ainsi, dans la zone soudano-sahélienne le climat temps à sécher, ce qui explique la longue période de déficit pluviométrique qui s'étale entre 1977 et 2002. Sur l'ensemble de la période d'étude, 50 % des années ont un déficit de pluie. Cependant, 18 % des années ont connu une sécheresse relativement importante. Les moyennes décennales de l'ISP calculé sont négatives sur trois périodes (1981-1990 ; 1991-2000 et 2001-2010). Cette caractéristique montre que la décennie 1971-1980 dont la moyenne de l'ISP est nulle constitue la période de début d'une période déficitaire importante et longue. Ainsi, la détermination des ruptures pluviométriques vient confirmer ce changement du comportement de la pluie. L'application des différents tests statistiques permet de montrer une rupture pluviométrique en 1976 au niveau de cette station (Figure 4).

Figure 4. Évolution de la U du test de Pettitt à Ouagadougou

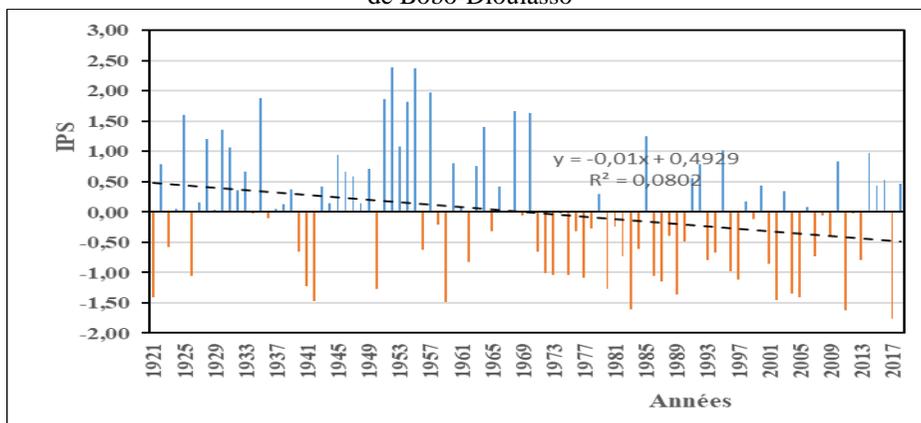
Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

On constate quatre périodes de durées inégales avec des caractéristiques différentes. La première période est humide et s'étend de 1921 à 1928 avec une pluviométrie moyenne de 1054,99 mm. La deuxième période, moins humide, est comprise entre 1929 et 1976, avec une pluviométrie moyenne de 869,01 mm. Quant à la troisième période, elle est sèche et s'étale entre 1977 à 2008 avec 715,37 mm comme moyenne pluviométrique. La quatrième période est plus humide que la troisième et s'étend de 2009 à 2018. Sa pluviométrie moyenne est de 870,12 mm. La différence entre la période la plus humide et la période sèche est de 339,62 mm, ce qui correspond à une baisse de 32,19 % des précipitations.

3) Évolution du climat à Bobo-Dioulasso

La station synoptique de Bobo est marquée par une variation de la pluviométrie qui se présente sous forme d'une alternance des années déficitaires et des années excédentaires. Les excédents les plus prononcés sont enregistrés au cours des années 1925, 1935, 1951, 1952, 1954, 1955, 1957, 1968 et 1970. Cependant, les années déficitaires sont 1983, 2011 et 2017. Au niveau de cette station située dans la zone sud-soudanienne, l'analyse a permis d'identifier trois phases d'évolutions de la pluviométrie. D'abord une phase de succession des excédents de pluie qui sont 1927-1933, 1943-1949, 1951-1955. Ensuite une phase successive de déficit (1971-1978, 1980-1984, 1986-1990). Et une dernière période qui est caractérisée par une instabilité dans la dynamique pluviométrique. La période de l'étude (1921-2018), montre que 50 années soit 51,02 % ont été humide contre 48 années de déficit pluviométrique soit 48,98 % comme le montre la figure 5. L'année 1952 était la plus arrosée (1551,6 mm) et 2017, la plus sèche (747,9 mm). Ainsi, la tendance pluviométrique reflète bien une importante variabilité pluviométrique entre 1921 et 2018.

Figure 5 .Variation temporelle de l'indice standardisée précipitation de la station synoptique de Bobo-Dioulasso



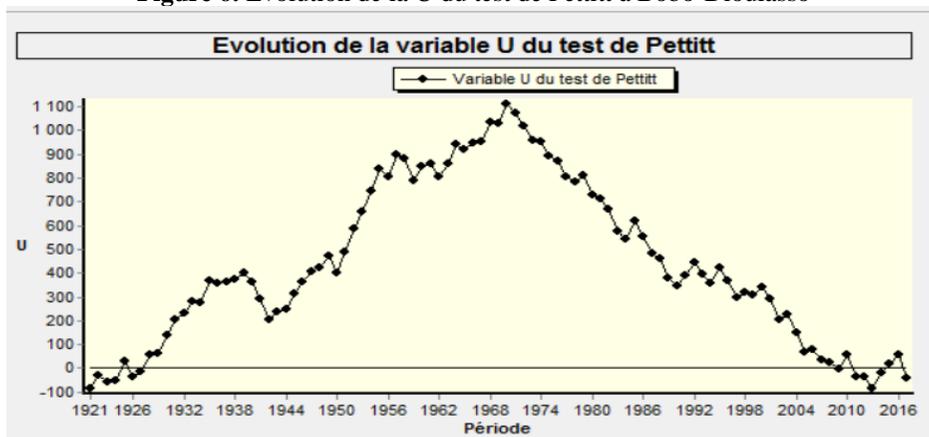
Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

Tableau 4. Distribution temporelle des épisodes de sécheresse dans la zone soudanienne

Intensité de la sécheresse	Nombre d'années	Fréquences des années sèches	Plus longue période sèche	Fréquence des années déficitaires (%)
Modérément sec	18 (1959 ; 1942 ; 2002 ; 1921 ; 2005 ; 1989 ; 2004 ; 1980 ; 1950 ; 1941 ; 1987 ; 1997 ; 1977 ; 1986 ; 1926 ; 1975 ; 1973 ; 1972)	18 %	1971-1978 1986-1990	48,98
Très sec	3 (2017 ; 2011 ; 1983)	3,06		
Extrêmement sec	0	0		

Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

La droite de régression linéaire de la figure 5 montre une régression des quantités de pluies qui tombent. Dans cette zone qui est la plus arrosée du pays, en depuis de la régression de la pluviométrie, des années d'extrême sécheresse n'ont jamais été enregistrées. Les années modérément secs et très secs représentent environ 18 % des années de la série d'étude. Ces caractéristiques montrent que cette zone climatique connaît des variations moins sévères. Les moyennes décennales inférieures à zéro concernent six décennies (1941-1950 ; 1971-1980 ; 1981-1990 ; 1991-2000 ; 2001-2010 et 2011-2018). Ce qui traduit une variation plus ou moins régulière et récente des quantités pluviométriques. Cependant, le test de Pettitt montre qu'il y'a eu une rupture dans la série 1921-2018 à Bobo-Dioulasso. La méthode bayésienne de Lee montre que cette rupture pluviométrique a eu lieu en 1970.

Figure 6. Évolution de la U du test de Pettitt à Bobo-Dioulasso

Source : traitement de données climatiques, ANAM, 2018

L'application de la méthode de segmentation de Hubert permet de diviser la série en trois phases distinctes. Deux périodes humides et une période sèche. La première période humide s'étend de 1921 à 1950 avec comme moyenne pluviométrique 1124,76 mm. La deuxième phase, plus humide, va de 1951-1955 avec une moyenne pluviométrique 1456,78 mm. Elle est très courte. La dernière période est sèche et s'étale de 1956 à 2018. Sa moyenne pluviométrique est de 1042,67 mm. La différence entre la période humide et la période sèche est de 414,11 mm soit une baisse de 28,42 % des précipitations. De façon générale, la tendance de la pluviométrie à Bobo Dioulasso est à la baisse.

4) Comparaison entre la dynamique pluviométrique dans les zones climatiques du Burkina Faso

Les analyses du comportement de l'ISP montrent une grande différence dans la variation pluviométrique dans les zones climatiques du Burkina Faso. En effet, la variation à Dori et à Bobo Dioulasso a presque la même tendance. En revanche, l'évolution de la pluviométrie à Ouagadougou se démarque de celle des deux zones climatiques. Dori et Bobo Dioulasso ont le même nombre de périodes en termes de rupture pluviométrique. Elles ont également en commun quatre décennies dont les moyennes de l'ISP sont négatives. En revanche à Dori, on enregistre deux périodes sèches et une période humide. Alors qu'à Bobo Dioulasso l'analyse révèle deux périodes humides et une période sèche. Ouagadougou est totalement opposé aux autres stations synoptiques avec quatre périodes, dont trois humides et une sèche.

La rupture pluviométrique n'a pas eu lieu à la même période. Elle a eu lieu plutôt à Dori (1969) et à Bobo (1970) et plus tard à Ouagadougou 1976. Toutefois, on retient que c'est au cours de la même décennie que les ruptures sont intervenues dans les stations synoptiques étudiées. De façon générale, les résultats montrent que dans les trois stations synoptiques, la période de sécheresse a débuté vers les années 1968. Elle a sévi jusqu'à la fin des années 1990. Et on constate une légère reprise à partir des années 2010. Cette situation ne tient pas compte des zones climatiques. Donc elle concerne tout le pays et va même au-delà du pays selon la littérature.

Concernant le nombre de périodes de déficit pluviométrique, sur la série 1921-2018, Dori enregistre plus de périodes déficitaires que de périodes excédentaires. Ce pendant à Ouagadougou, le nombre d'année de déficit et d'excédent pluviométriques sont identiques. En revanche, à Bobo-Dioulasso, les années d'excédent sont plus nombreuses que celles déficitaires. À la station synoptique de Dori, il y a 4,1 % d'écart au profit du déficit alors qu'à la station synoptique de Bobo-Dioulasso, l'écart est de 2,04 % en faveur de l'excédent pluviométrique. On note également une sévérité du déficit

pluviométrique à Dori (deux années d'extrême sécheresse), qu'à Ouagadougou (une année d'extrême sécheresse) et à Bobo où aucune année d'extrême sécheresse n'a été enregistrée. Mais dans toutes les trois stations synoptiques, la tendance générale est à la baisse de la pluviométrie.

Cette différence dans la dynamique pluviométrique de cette série dans ces trois stations synoptiques s'explique par le fait que ces stations sont situées dans des zones climatiques différentes avec des conditions météorologiques particulières à chaque zone. Les résultats de Ouagadougou prouvent sa situation dans une zone de transition entre la zone sahélienne, plus sèche et la zone sud-soudanienne plus humide. La longueur de la saison pluvieuse étant différente d'une zone climatique à l'autre peut expliquer cette disparité dans la dynamique pluviométrique de ces trois stations. La position de ces zones par rapport au CIT est un élément explicatif de cette disparité pluviométrique. La mousson arrive plutôt à Bobo et plus tard à Dori chaque année et à des périodes différentes. Il en est de soi que Bobo Dioulasso enregistre plus d'excédents pluviométriques que de déficit de la pluviométrie par rapport à Dori. La position géographique de ces différentes stations explique aussi cette différence. La dynamique pluviométrique est différente d'une zone climatique à une autre.

V. Discussions

Le Burkina Faso a connu une descente des isohyètes du nord vers le sud. Depuis les années 1921, la pluviométrie a évolué en dents-de-scie avec une alternance de périodes de sèches et de périodes d'excédents pluviométriques. Les résultats obtenus montrent une variation de la pluviométrie à Dori, Ouagadougou et Bobo-Dioulasso, avec une tendance générale à la baisse comme le montre les droites de tendance linéaire. Cette baisse est plus importante à Ougadougou et Bobo-Dioulasso. De nombreux auteurs, ayant travaillé sur l'ensemble du territoire burkinabè ont fait des constats similaires. C'est le cas de Ouédraogo (2012 ; 2015) et Ouoba (2013) à Dori, Dipama (2014) et Rouamba (2017) à Ouagadougou et Kaboré et al. (2017) à Bobo-Dioulasso. Ainsi, ces résultats montrent une tendance générale à la baisse des quantités de pluie qui tombent sur le territoire du Burkina Faso. À cette variation temporelle vient s'ajouter une forte variation spatiale des quantités de pluie au regard des moyennes pluviométriques enregistrées dans les trois zones de l'étude. Ces différents résultats sont similaires même si la longueur de la série étudiée n'est pas identique. Au-delà du Burkina Faso, Ozer et al. (2010) ont montré que dans la frontière sud du Sahara (zone sahélienne), les tendances climatiques montrent une tendance à la baisse de la pluviométrie. Travaillant sur les mêmes zones climatiques au Sénégal, Bodian (2014) a également montré une rupture plus ou moins similaire.

Le bilan de l'évolution de la pluviométrie montre que le nombre d'années déficitaires est plus élevé à Dori qu'à Bobo-Dioulasso. À Ouagadougou, on note une égalité entre années déficitaires et excédentaires. Les travaux de Ouédraogo (2012) dans la zone sahélienne confirme cette persistance de la sécheresse dans la zone sahélienne caractérisée par une dominance des années sèches. Kaboré et al. (2017) ont montré une faible pluviométrie à Dori par rapport à Ouagadougou et Bobo-Dioulasso. Par ailleurs, leurs travaux montrent qu'à l'horizon 2050, les hauteurs pluviométriques de Bobo-Dioulasso connaîtront une forte baisse par rapport aux autres zones climatiques.

Ainsi, tandis que les variations interannuelles des quantités pluviométriques sont importantes à Dori, à Bobo-Dioulasso c'est la tendance à la baisse qui est plus prononcée. Cependant, la moindre variation de la pluviométrie à Dori a un impact environnemental et socioéconomique important au regard de la fragilité des écosystèmes Ozer et al. (2010). La rareté des ressources qui s'est accentuée depuis les grandes sécheresses et à la suite des activités agropastorales explique l'importance de l'impact des variations pluviométriques dans la zone de Dori.

La crise climatique a eu lieu à la fin des années 1960 dans les trois stations étudiées en témoigne les ruptures pluviométriques constatées en 1969 à Dori, en 1970 à Bobo Dioulasso et en 1976 à Ouagadougou ; alors que la période des années avant 1950 a été pluvieuse. Des résultats similaires sont également obtenus par d'autres auteurs grâce au test de Pettitt même lorsque les périodes d'analyse sont différentes. Ainsi, à Dori, Ouédraogo (2015) identifie pour la période de 1960 à 1990 une tendance à la baisse de la pluviométrie avec une rupture en 1969. À Ouagadougou, Rouamba (2017) a permis d'identifier une rupture en 1976 sur une série pluviométrique de 1953 à 2013.

Au-delà du Burkina Faso, plusieurs travaux ont montré que non seulement les tendances climatiques sont à la baisse dans l'ensemble de la zone sahélienne, mais également que les ruptures pluviométriques dans cette zone se situent autour des années 1960-1970. Dans l'est du Niger (Gouré et Zinder), l'analyse des données pluviométriques de quatre stations montre que la crise climatique a bel et bien débutée à la fin des années 1960 de manière quasi simultanée Ozer *al.* (2009). Les ruptures pluviométriques y sont situées en 1967 et 1968 respectivement. Au Sénégal, le test de Pettitt, appliquée à une série de données de 1940-2013 situe la rupture pluviométrique de la zone sahélienne en 1969 et celle des zones soudaniennes en 1967, Bodian (2014). C'est le cas de Sagan *et al.* (2021) à travers l'application du test de Pettitt ont trouvé des ruptures en 1969 au Bénin et au Burkina Faso et en 1967 au Sénégal. Elle est intervenue plus tard en Côte d'Ivoire dans les années 1981.

Les résultats obtenus montrent que les ruptures pluviométriques dans l'ensemble des pays de l'Afrique de l'Ouest sont apparues après 1960. Cette transition climatique fut d'autant plus violente qu'elle succédait directement à la période la plus arrosée du siècle des années 1950 et 1960.

Certains auteurs ont par la suite noté une certaine reprise de la pluviométrie entre 1990 et 1993, Ozer et al. (2010). Certes, les tests effectués n'ont pas détecté de rupture avec une tendance à la hausse de la pluviométrie tendant à montrer une reprise climatique, mais les graphiques montrent que le SPI a connu une amélioration ces dernières décennies. Ainsi, les conditions climatiques tendent à s'améliorer, avec un impact positif sur les activités de productions agropastorales. Pour davantage améliorer cet impact, des nombreuses actions sont menées pour améliorer les capacités d'adaptation des populations aux nouvelles conditions climatiques. Cependant, ces efforts sont de plus en plus compromis avec la forte croissance démographique enregistrés dans cette zone. De plus, les crises sécuritaires ont accentué la précarité des populations d'autant plus qu'elles ont engendré des déplacement et limité l'intervention des acteurs de développement. Cette situation suscite des questionnements quant à l'avenir de la zone dans les prochaines décennies.

Conclusion

Les variations climatiques restent un sujet très important et d'actualité, non seulement pour le siècle actuel, mais aussi et surtout pour les populations dont la survie en dépend au regard de leur forte dépendance. C'est pourquoi l'étude du climat demeure toujours une opportunité pour comprendre son évolution. La présente étude a permis de mettre en relief la dynamique climatique dans trois zones climatiques au Burkina Faso. Elle a confirmé les tendances à la baisse déjà démontré par de nombreux auteurs, avec des périodes de ruptures plus ou moins similaires.

Cependant, cette étude met en exergue les différences d'évolution de la pluviométrie dans les trois zones climatiques en s'appuyant sur les données de Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. Le paradoxe qui se révèle est la similarité entre les évolutions pluviométriques de Bobo-Dioulasso et de Dori, à la différence d'une fréquence importante es épisodes de sécheresse à Dori et une tendance plus élevée à la baisse de la pluie à Bobo-Dioulasso. Ainsi, on déduit que la variation des quantités pluviométrique est plus importante à Bodo-Dioulasso, mais les faibles quantités de pluie de Dori rendent plus vulnérable cette zone. De plus, des facteurs comme les conditions végétales et le rayonnement solaire peuvent expliquer cette différence d'évolution de la pluviométrie.

References:

1. Ali A. & Lebel T. (2009). The Sahelian standardized rainfall index revisited” in *Int. J. Climatol.* 29, pp. 1705-1714
2. Attiadé G. A. A. (2014). Impacts de la dynamique du climat et de l’occupation des terres sur les ressources en eau du Bassin versant de la rivière Zou dans le Bénin méridional, Thèse de doctorat, université d’Abomey Calavi, 235 p.
3. Bodian A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l’Ouest). *Physio-Géo*, Volume 8, n°1, pp. 297-312.
4. Bodian A. et al., Dezetter A., & Dacosta H. (2011). Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique, in *Physio-Géo*, vol. V, pp 116-133.
5. Dai A., Lamb P. J., Trenberth K. E., Hulme M., Jones P. D. & Xie P. (2004). Comment: the recent sahel drought is real. *Int. J. Climatol.* 24: pp.1323-1331.
6. Dipama J. M. (2014). Approche spatiale du phénomène du réchauffement climatique à l’échelle du Burkina Faso et perceptions des populations. *Climat et développement* n° 16, juin 2014. Laboratoire Pierre PAGNY - Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), pp 36-49.
7. Dipama J. M. (2005). Mécanisme général de la genèse des pluies et leur répartition au Burkina Faso, Espace scientifique n°005, juin, juillet, août, 2005, pp.7-11.
8. Descroix L., Niang A. D., Panthou G., Bodian A., Sane Y., Dacosta H., Abdou M. M., Vadervaere J. P. & Quantin G. (2015). Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l’Ouest à travers deux régions : la Sénégalie et le bassin du Niger moyen, in *Climatologie*, volume 12, 2015.
9. Faye C., Sow A. A. & Ndong J. (2015). Étude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sècheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Géo*, Volume 9, consulté le 27 septembre 2019.
10. GIEC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Genève, Groupe intergouvernemental sur l’évolution du climat, 103 p.
11. Kaboré O., Dipama J. M. & Sanou K. (2018). Effets de la variabilité climatique sur les migrations et la capacité de résilience des agropasteurs dans les villages de Kabonga 1 et 2 (Burkina Faso). *Rev. Sc. Env. Univ.*, Lomé (Togo), n° 15, vol. 2, pp. 251-272

12. Kaboré B., Kam S., Ouédraogo G. W. P. & Bathiébo D. J. (2017). Étude de l'évolution climatique au Burkina Faso de 1983 à 2012 : cas des villes de Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. *Arabian journal of earth sciences*, 4 - Issue 2 : pp. 50-59.
13. Karambiri B. L. C. N. (2017). Variabilité climatique et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Sourou au Burkina Faso, Thèse de doctorat, Université Ouaga1/Pr Joseph Ki-Zerbo, 238 p.
14. Lee A.F.S. & Heghinian S.A. (1977). A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables. A Bayesian approach. *Technometrics*, vol. 19, n° 4, p. 503-506.
15. Le Houerou H. N. (1980). The Rangelands of the Sahel. *Journal of range management*, 33(1), pp. 41-45.
16. Lubès H., Masson J.M., Servat E., Patrel J.E., Kouamé B. & Boyer J.F. (1994). Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques-Etude bibliographique. Rapport n° 3. ORSTOM, Montpellier, France, 1994.
17. Mckee T. B., Doesken N. J., & Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.
18. Mishra A.K. & Singh V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
19. Nicholson S. E., Somé B. & Koné B. (2000). An Analysis of Recent Rainfall Conditions in West Africa, Including the Rainy Seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña Years. *Journal of climate*, vol. 13: pp. 2628- 2640.
20. OMM (2012). Temps, climat, eau. *Météo Monde*, OMM-Avril 2012, 8 p.
21. Ouoba P. A. (2013). Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè. Thèse de doctorat unique de géographie, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 305 p.
22. Ouédraogo B. (2015). Stratégies d'adaptation des agropasteurs à la variabilité climatique dans le bassin versant de Yakouta (Burkina Faso). Thèse de doctorat de géographie, Université Ouaga I Pr Joseph Ki-Zerbo, 248 p.
23. Ozer P., Erpicum M., Demarée G. & Vandiepenbeeck M., (2003). Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. in *Hydrological Sciences-Journal*, 48(3), pp. 489-496.

24. Ozer P., Hountondji Y. C. & Laminou Manzo O. (2009). Évolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop.*, 33, pp 11-30.
25. Ozer P., Hountondji Y. C., Niang A. J., Karimoune S., Laminou M. O. & Salmon M., (2010). Désertification au sahel : historique et perspectives. *BSGLg*, 54, pp. 69-84.
26. Rouamba S. (2017). Variabilité climatique et accès à l'eau dans les quartiers informels de Ouagadougou, Thèse de doctorat, université de Ouagadougou, 445 p.
27. Sagna P., Dipama J. M., Vissin E. W., Diomandé B. I., Diop C., Chabi P. A. B., Sambou P. C., Sané T., Karambiri B. L. C. N., Koudamiloro O., Diédhiou Y. M., & Yadé M. (2021). Climate Change and Water Resources in West Africa: A Case Study of Ivory Coast, Benin, Burkina Faso, and Senegal. in DIOP S. SCHEREN P. NIANG A. *Climate Change and Water Resources in Africa Perspectives and Solutions Towards an Imminent Water Crisis*, pp. 87-130.
28. Sambou S. D. H. & Paturel J. E. (2018). Variabilité spatio-temporelle des pluies de 1932 à 2014 dans le bassin versant du fleuve Kayanga/Gêba (République de Guinée, Sénégal, Guinée-Bissau). *Physio-Géo*, Volume 12, consulté le 17 septembre 2019.
29. Soro G. E., Anouman D. G. L., Goula B. I. T. A., Srohorou B., & Savane I. (2014). « Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique à diverses échelles de temps en climat de type soudanais : cas de l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire ». in *Larhyss Journal*, n°18, pp. 107-124
30. Wetta C., Dipama J. M., Akouweraou D. & Sampana L., 2015. Burkina Faso : revue du contexte socio-économique, politique et environnemental, rapport d'étude, 76 p.