

## **Variabilité Spatio-temporelle de la Pluviométrie dans les Zones Climatiques du Burkina Faso: Cas de Bobo –dioulasso, Ouagadougou et Dori**

*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/esj.2023.v19n9p262](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p262)

Submitted: 23 February 2023

Accepted: 27 March 2023

Published: 31 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 Climatiques du Burkina Faso: Cas de Bobo –dioulasso, Ouagadougou et Dori*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 262.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p262>

### **Résumé**

L'évolution de la pluviométrie dans la zone sahélienne a connu d'importantes variations depuis les sécheresses des années 70 et 80. Cette zone est considérée par de nombreux auteurs comme la zone la plus affectée par les variations climatiques de ce siècle avec des paramètres climatiques très variables. Ainsi, cette étude a pour objectif d'analyser la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans les trois zones climatiques notamment à Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. Pour atteindre cet objectif, les quantités de pluie annuelle de 1921 à 2018 des stations synoptiques de Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori, correspondant aux trois zones climatiques que compte le Burkina Faso ont été mobilisées. Ainsi, pour déterminer les différences de variations spatio-temporelles de la pluviométrie, des indices de précipitation ont été calculés pour identifier les années et périodes humides ou sèches. De plus, les ruptures pluviométriques ont été calculées à l'aide du test de Pettitt pour déterminer les différents cycles de l'évolution de la pluviométrie. 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 est de -0,01. Cependant à Dori la sécheresse est fréquente et rude qui 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.

---

**Mots-clés:** Variation spatio-temporelle, pluviométrie, zone climatique, Burkina Faso

---

## **Spatio-temporal Variability of Rainfall in the Climatic Zones of Burkina Faso: The Case of Bobo-dioulasso, Ouagadougou and Dori**

*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 experienced significant variations since the droughts of the 1970s and 1980s. This zone is considered by many authors as the zone most affected by climate variations this century with highly variable climatic parameters. Thus, the objective of this study is to analyse the spatio-temporal variability of rainfall in the three climatic zones of Bobo-Dioulasso, Ouagadougou and Dori. To achieve this objective, annual rainfall amounts from 1921 to 2018 from the synoptic stations of Bobo-Dioulasso, Ouagadougou and Dori, corresponding to the three climatic zones in Burkina Faso, were mobilised. Thus, to determine the differences in spatio-temporal variations in rainfall, rainfall indices were calculated to identify wet or dry years and periods. In addition, rainfall breaks were calculated using the Pettitt test to determine the different cycles of rainfall evolution. The results show that rainfall has been decreasing since 1921 in all three localities, but with a strong downward trend in Bobo-Dioulasso where the leading coefficient is -0.01. However, in Dori the drought is frequent and severe, with two extremely dry years (1926 and 1987). In addition to these results, the Pettitt test identified rainfall breaks in 1969 in Dori, in 1970 in Bobo-Dioulasso, then in 1976 in Ouagadougou. All these results show a difference in the evolution of this parameter in the different climatic zones.

---

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

## Introduction

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. La région sahélienne est considérée comme la partie du monde la plus affectée par les phénomènes climatiques extrêmes durant le XX<sup>e</sup> 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 fragilisé les systèmes de production et rendu vulnérable 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 au 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 (Nicholson et al., 2000 ; Ozer et al., 2003 ; Ozer et al., 2010). 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. 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).

Ainsi, cette étude a pour objectif d'analyser la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans les trois zones climatiques notamment à Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. Il s'agira pour chaque localité d'observation dans un premier temps d'analyser l'évolution de la pluviométrie entre 1921 et 2018 à travers le calcul de l'indice standardisé de précipitation et dans un second temps, de déterminer les années de rupture à travers le test de Pettitt. Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie a été mise en œuvre. Elle présente la zone d'étude, les outils et méthodes utilisés. Cette démarche a permis d'obtenir des résultats qui sont présentés puis discutés.

## **1. Méthodologie**

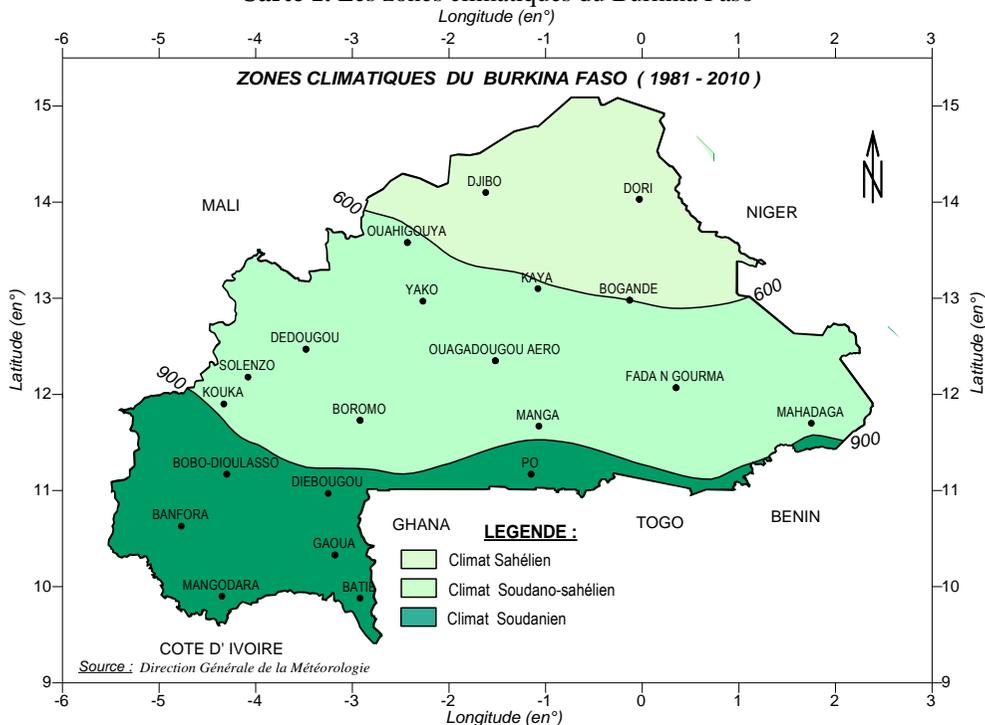
### **1.1. Présentation de la zone d'étude**

La zone 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.

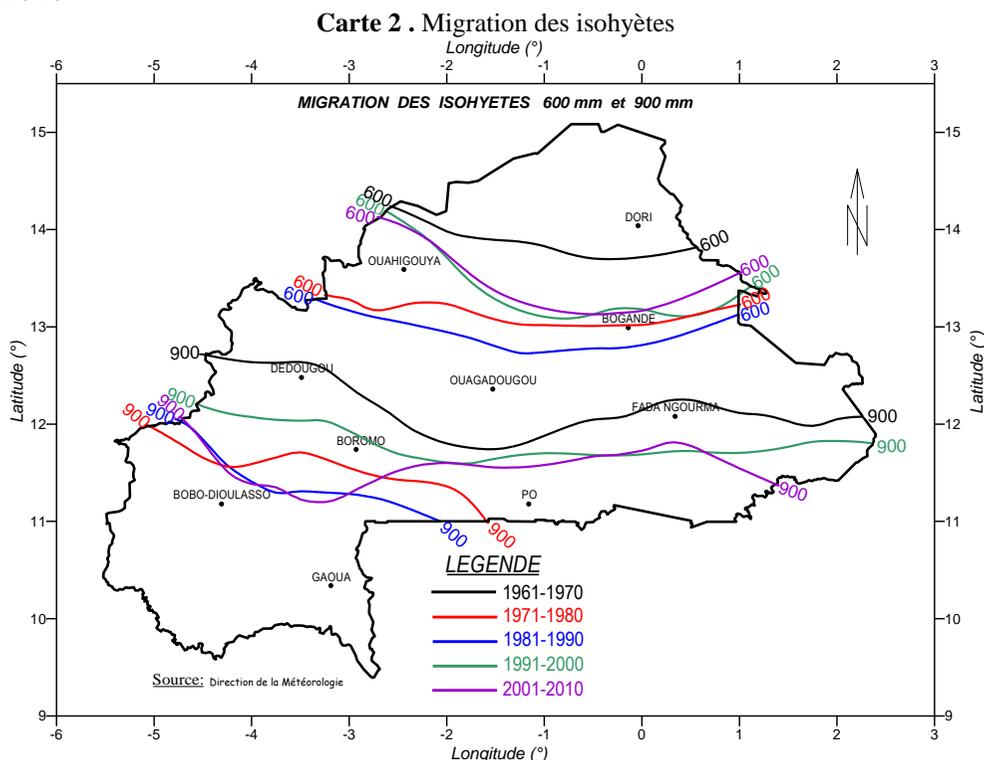
Le territoire du Burkina Faso est subdivisé en trois zones climatiques que sont les zones sahélienne, nord-soudanienne et sud-soudanienne (carte 1). Située dans la partie nord du pays, la zone sahélienne occupe environ 25 % du territoire national (Dipama, 2005). Elle est la moins arrosée avec une pluviométrie 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.

Carte 1. Les zones climatiques du Burkina Faso



Le Burkina Faso est caractérisé par une forte variation spatio-temporelle 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 1991-2010 et 2001-2010, l'isohyète 600 mm se positionne successivement en dessous et au-dessus du 13<sup>e</sup> parallèle. L'isohyète 900 mm a connu le même basculement vers

le nord dans l'intervalle durant les décennies 1981-1990, 1991-2000 et 2001-2010.



Les variations spatio-temporelles de la pluviométrie entraînent des conséquences sur les activités socioéconomiques des populations. En effet, environ 80 % de la population burkinabè vit en milieu rural. Cette frange importante de la population dont la survie est dépendante des productions agropastorales subit de plein fouet les effets des variations climatiques. Ces situations ont favorisé des vagues de migrations des zones sahéniennes vers les zones soudaniennes, amplifiant ainsi les risques de conflits entre autochtones et migrants (Kaboré et al., 2018).

## 1.2. Les données de l'étude

La réalisation de l'étude a nécessité l'utilisation de plusieurs données. En effet, des séries de valeurs de la moyenne annuelle de la pluviométrie de 1921 à 2018 ont été collectées. Trois stations synoptiques ont été retenues, à raison d'une station par zone climatique. Il s'agit des stations de Dori, de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso respectivement pour les zones sahéniennes, nord-soudanienne et sud-soudanienne. Les données ont été fournies par l'Agence de la Météorologie nationale (ANAM). Le traitement et l'analyse de ces données ont mobilisé différents outils et méthodes.

### 1.3. Le traitement et l'analyse des données

#### 1.3.1. Indice standardisé de précipitation

Plusieurs auteurs ont utilisé l'indice standardisé de précipitation (ISP) a été mis au point par Mckee et al. (1993) pour caractériser l'évolution de la pluviométrie (Bodian, 2014 ; Soro et al., 2014 ; Descroix et al., 2015). Cet indice. Contrairement à la multitude d'indices qui servent à caractériser la sécheresse, celui-ci 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 :

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

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

$x_i$  = quantité mensuelle ou annuelle des précipitations dans une certaine année  
 $\bar{x}$  = 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
Supérieure ou égale 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
Inférieure ou égale 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.

### **1.3.2. 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 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. Bodian (2014), Faye et al. (2015) et Sambou et Paturol (2018) ont travaillé sur la puissance et la robustesse de ces différents tests et ont conclu d'une variation relative 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 serait 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 mis 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 :

- $Ik, k=1, 2, \dots, m$  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  $Dm = \sum_{k=1}^{k=m} D_k = ki = \sum_{k=1}^{k=m} \sum_{i=i_k}^{i=i_k} (xi - \bar{x})^2$  est l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée (Athadé, 2014).

### 1.3.3. 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 :

$$\begin{aligned} xi &= \mu + \varepsilon i \quad \text{avec } i = 1, 2, 3, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon i & \quad \text{avec } i = 1, 2, 3, \dots, N \end{aligned}$$

Les  $x_i$  sont indépendant, normalement distribué, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ . La position de la rupture dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de la moyenne sont représentées respectivement par  $\tau$  et  $\delta$ . Le changement éventuel, position et amplitude, correspond au mode des distributions a posteriori de  $\tau$  et  $\delta$ . Ainsi, cette méthode fournit la probabilité que le changement se produise au moment  $\tau$  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  $\delta$ . 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 unimodale (Athadé, 2014 ; Karambiri, 2017).

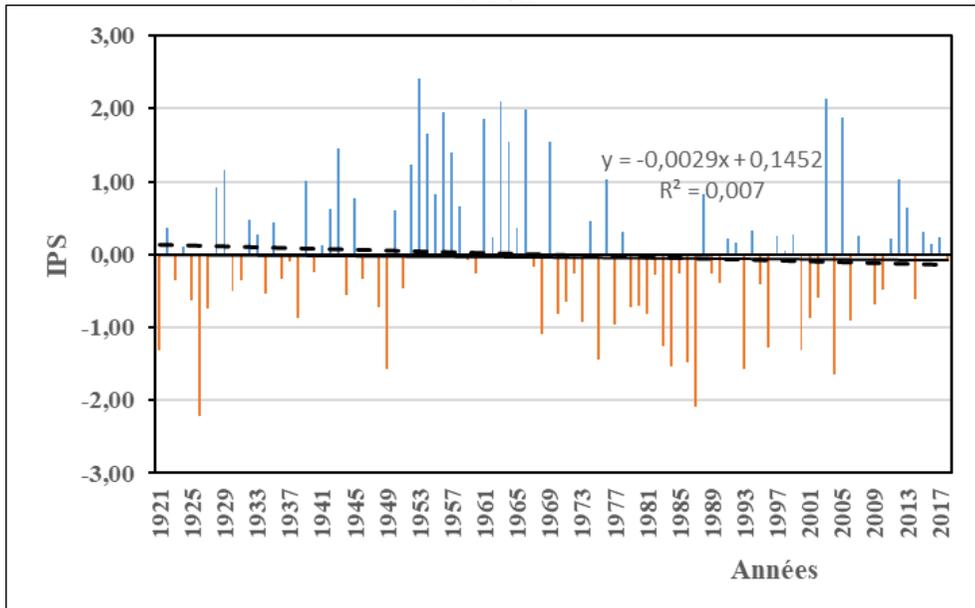
## 2. Résultats

### 2.1. Évolution du climat dans les trois stations du Burkina Faso

#### 2.1.1. 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'année sèche sur l'ensemble de la période d'étude. Et 2,06 % des années n'ont connu ni déficit ni excédent pluviométrique. Le tableau 2 présente la distribution temporelle du comportement de la pluie à Dori.

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



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

**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		

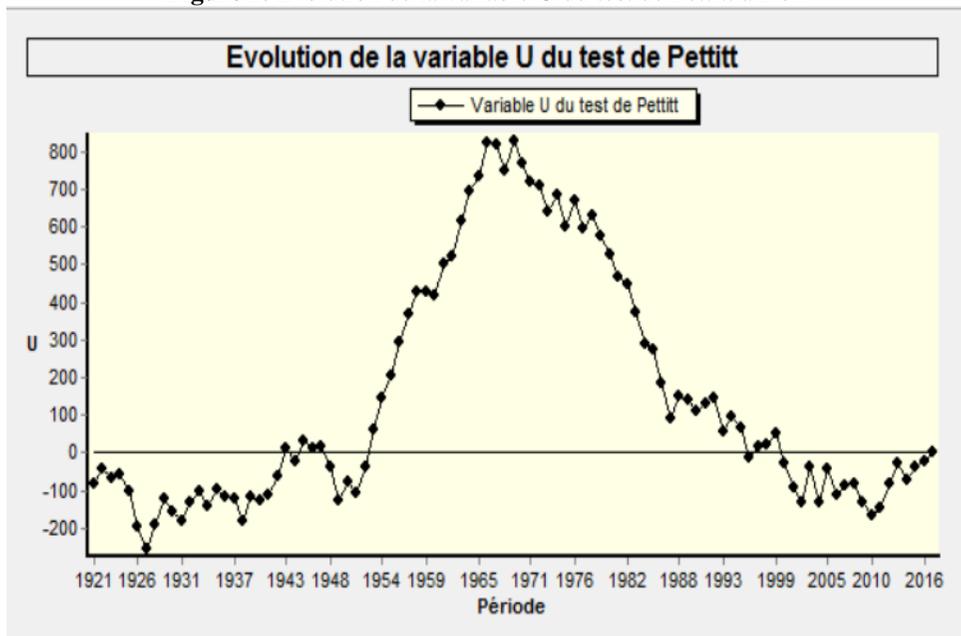
Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

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'années 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 négatives.

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 1953 est la plus humide et 1926 est la plus sèche. 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 sahélienne 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 variable U du test de Pettitt à Dori



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

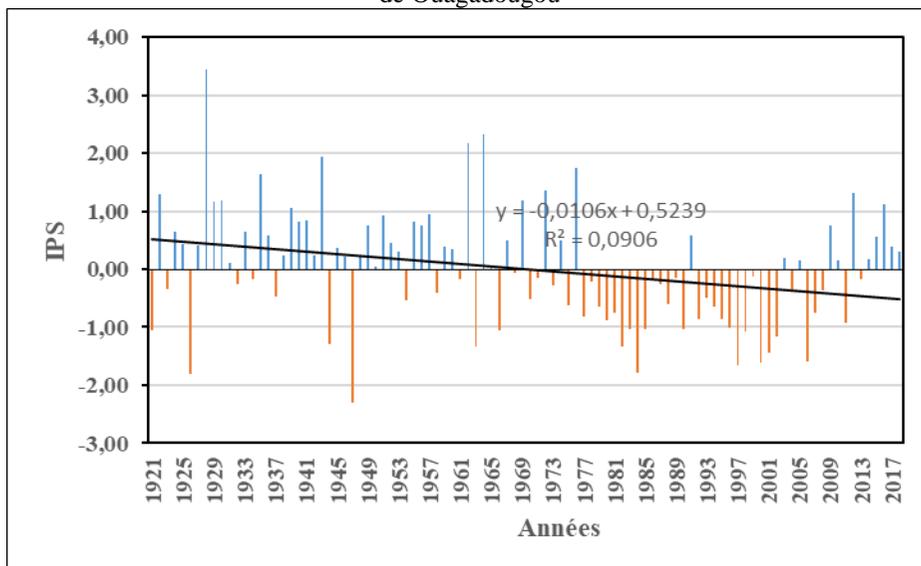
Cette rupture pluviométrique est confirmée par la méthode de segmentation de Hubert qui divise la série de 1921 à 2018 en trois périodes.

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 mm. 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.

### 2.1.2. 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 a été une année extrêmement humide et 1947 extrêmement sèche selon les normes de l'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 et le tableau 3). La tendance générale est à la baisse à Ouagadougou dans la zone nord-soudanienne.

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



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

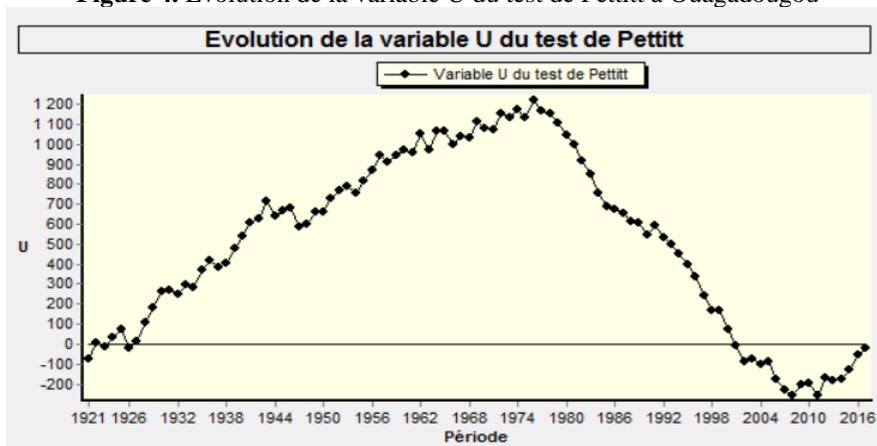
**Tableau 3.** Distribution temporelle des épisodes de sécheresse dans la zone soudano-sahélienne

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 : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

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 variable U du test de Pettitt à Ouagadougou



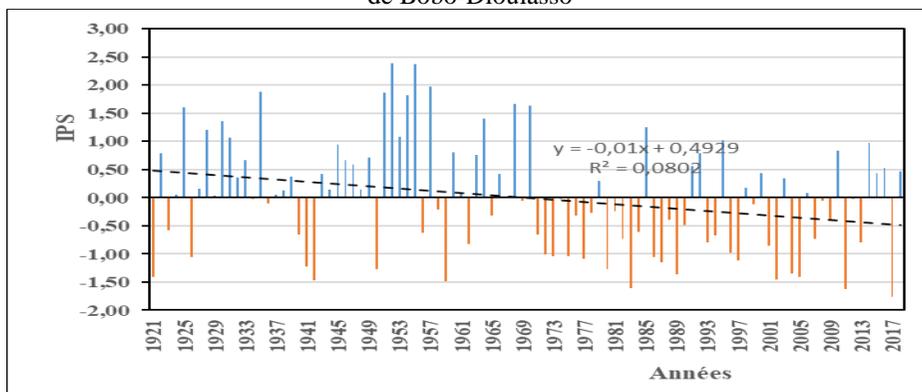
Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

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.

### 2.1.3. *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 succession de déficits (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 et tableau 4).

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



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

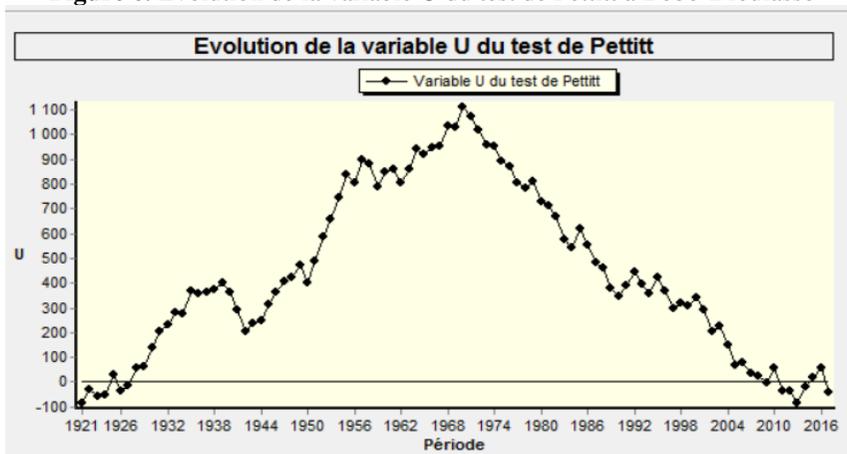
**Tableau 4.** Distribution temporelle des épisodes de sécheresse dans la zone soudanienne

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 : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

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 sèches et très sèches 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 variable U du test de Pettitt à Bobo-Dioulasso



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018  
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

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 de 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.

## **2.2. Une dynamique spatiotemporelle importante de la 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 identique. En revanche, à Bobo-Dioulasso, les années d'excédent sont plus nombreuses que les années 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-Dioulasso 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. En effet, chaque année, la mousson arrive plus tôt à Bobo-Dioulasso et plus tard à Dori et à des périodes différentes. Il va de soi que Bobo-Dioulasso enregistre plus d'excédents que de déficits pluviométriques 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.

### **3. 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 montrent les droites de tendance linéaire. Cette baisse est plus importante à Ouagadougou 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 une tendance à la baisse de la pluviométrie dans la frontière sud du Sahara (zone sahélienne). 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 sahéenne confirment cette persistance de la sécheresse dans la zone sahéenne 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 qui a eu lieu à la fin des années 1960 dans les trois stations étudiées explique 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 les tendances climatiques sont à la baisse dans l'ensemble de la zone sahéenne et 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 commencé à la fin des années 1960 de manière quasi simultanée Ozer et 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 sahéenne en 1969 et celle des zones soudaniennes en 1967, Bodian (2014). C'est le cas de Sagan et al. (2021) qui, à travers l'application du test de Pettitt, a 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 et visant 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, de 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 enregistrée dans cette zone. De plus, les crises sécuritaires ont accentué la précarité des populations d'autant plus qu'elles ont engendré des déplacements 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

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 démontrées 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 Dori, à la différence d'une fréquence importante des 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 Bobo-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., 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. Daï A., Lamb P. J., Trenberth K. E., Hulme M., Jones P. D. & Xié 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, Écosystème 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 Sénégambie et le bassin du Niger moyen, in *Climatologie*, volume 12, 2015.
  9. Faye C., Sow A. A. & Ndong J. (2015). Étude des sécheresses 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, pp. 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., Paturel J.E., Kouamé B. & Boyer J.F. (1994). Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques-étude 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., Ercicum 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 socioéconomique, politique et environnemental, rapport d'étude, 76 p.