



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## Caracteristiques Spatio – temporales de la Variabilite Climatique au Benin (Afrique de L'ouest)

**Dr. Modoukpè Inès Oyede**

Agence Nationale de la Météorologie METEO BENIN, Cotonou, Bénin

**Dr. Sylvie Hounzime**

Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC),

Université d'Abomey-Calavi, UAC, Bénin

**Isidore Agbokou**

Centre d'Etudes Diplomatiques et Stratégiques (CEDS), Paris

**Agali Alhassane, Maitre de Recherche**

Centre Régional Aghrymet, République du Niger

**Pr. Dr. Ibouaïma Yabi**

Centre Inter-facultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour

le Développement Durable (CIFRED),

Université d'Abomey-Calavi, UAC, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n30p240](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n30p240)

Submitted: 31 May 2022

Accepted: 30 August 2022

Published: 30 September 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Ouede M.I., Hounzime S., Agbokou I., Alhassane A. & Yabi I. (2022). *Caracteristiques Spatio – temporales de la Variabilite Climatique au Benin (Afrique de L'ouest)*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (30), 240. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n30p240>

### Résumé

L'instabilité climatique se traduit par une variabilité spatiotemporelle des principaux paramètres notamment les précipitations et la température constituent une menace pour le développement durable du Bénin. L'objectif de cet article est d'analyser les principales caractéristiques spatiotemporelles de la variabilité climatique à l'échelle du territoire nationale. Les données utilisées relèvent des six stations synoptiques et concernent les périodes allant de 1960 à 2021. Les indicateurs de la variabilité climatique analysés dans le présent travail sont les précipitations journalières et la température mensuelle. L'indice de précipitation normalisé (SPI) proposé à l'origine par Mckee et al. (1993) est utilisé comme un indice de suivi de la sécheresse et recommandé par l'organisation météorologique mondiale. Le Bénin à l'instar des autres pays de l'Afrique de l'Ouest a connu une variabilité

pluviométrique dans les 60 dernières années. Cette variabilité varie suivant chaque évènement (hauteur de pluie, nombre de jours de pluie, les maximas) enregistré au cours de l'année voir la décennie. Au regard des différentes analyses effectuées, la décennie 1961- 1970 a connu une situation majoritairement excédentaire sur toute la région du sud. Les décennies 1981-1990 puis 1991- 2000 ont enregistré des situations excédentaires très peu significatives dans la Commune de Savè. Les températures enregistrées sont en dessous de la normale (1991-2020) dans la plupart des régions du pays. Les températures extrêmes varient entre 27.8°C et 28°C et concernent les départements du Zou (Bohicon) et de l'Alibori (Kandi). Des situations déficitaires ont été obtenues dans la majeure partie du pays à l'exception du centre Est et courant les périodes 1971 à 2021. Les paramètres agrométéorologiques sont déterminés afin de définir la pertinence des dates de démarrage des saisons et leur impact sur le calendrier agricole au Bénin.

---

**Mots-clés:** Bénin, variabilité climatique, réchauffement thermique, instabilité pluviométrique, risques agro-climatiques tendance, impact, saison

## **Spatio Temporal Characteristics of Climate Variability in Benin (West Africa)**

***Dr. Modoukpè Inès Oyede***

Agence Nationale de la Météorologie METEO BENIN, Cotonou, Bénin

***Dr. Sylvie Hounzime***

Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC),  
Université d'Abomey-Calavi, UAC, Bénin

***Isidore Agbokou***

Centre d'Etudes Diplomatiques et Stratégiques (CEDS), Paris

***Agali Alhassane, Maitre de Recherche***

Centre Régional Aghrymet, République du Niger

***Pr. Dr. Ibouaïma Yabi***

Centre Inter-facultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour  
le Développement Durable (CIFRED),  
Université d'Abomey-Calavi, UAC, Bénin

---

### **Abstract**

Climatic instability results in spatiotemporal variability of the main parameters, in particular rainfall and temperature, which constitute a threat to the sustainable development of Benin. The objective of this article is to analyze the main spatiotemporal characteristics of climate variability at the scale of the national territory. The data used come from the six synoptic stations and concern the periods from 1960 to 2021. The indicators of climate variability analyzed in this work are daily precipitation and monthly temperature. The normalized precipitation index (SPI) proposed originally by McKee et al. (1993) is used as a drought monitoring index and recommended by the World Meteorological Organization. Benin, like other West African countries, has experienced rainfall variability over the past 60 years. This variability varies according to each event (height of rain, number of rainy days, maxima) recorded during the year or even the decade. In view of the various analyzes carried out, the decade 1961-1970 saw a situation that was mainly surplus throughout the southern region. The decades 1981-1990 then 1991-2000 recorded very insignificant surplus situations in the Commune of Savè. Recorded temperatures are below normal (1991-2020) in most parts of the country. Extreme temperatures vary between 27.8°C and 28°C and concern the departments of Zou (Bohicon) and Alibori (Kandi). Deficit situations were obtained in most of the country with the exception of the eastern center and during the periods 1971 to 2021. The agro-meteorological parameters are determined in order to define the relevance of the start dates of the seasons and their impact on the agricultural calendar in Benin.

---

**Keywords:** Benin, climatic variability, thermal warming, rainfall instability, agro-climatic risks trend, impact, season

## **Introduction**

L’Afrique de l’Ouest a connu, depuis le début des années soixante, des périodes de sécheresses significatives, conduisant à une insécurité alimentaire et à une baisse des ressources en eau des populations ouest-africaines (Gowing, 2003). Les questions de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politico-administratives. Les précipitations et la température représentent des facteurs les plus importants du climat. Cette tendance climatique perturbe les activités économiques agropastorales notamment et menace même l’atteinte des ODD malgré les efforts de développement consentis par les Etats.

La variabilité climatique au Bénin induit une augmentation de la température moyenne, une forte variabilité de la pluviométrie et l’augmentation de l’occurrence des conditions extrêmes telles que les inondations et les sécheresses (Djohy, 2016). Ces modifications du climat engendrent une perturbation des calendriers agricoles dans les différentes régions du Bénin (Ogouwalé, 2006).

Les décennies 1970 et 1980 au Bénin, ont été marquées par une baisse considérable des précipitations (Idani *et al.* 2013) et une sécheresse sévère. Selon Oyédé (2019), la répartition inégale des pluies se traduit entre autres par une diminution du nombre d’événements pluvieux, un nombre élevé des épisodes secs, l’apparition d’événements extrêmes, des débuts tardifs et des fins précoces de pluies dans un contexte de réchauffement thermique. Il s’en suit des inondations, des vents violents, des sécheresses etc., qui affectent la production agricole, les moyens d’existence des communautés et la sécurité alimentaire. Selon ces auteurs, le déficit pluviométrique observé sur plusieurs années consécutives s’est répercuté non seulement sur les activités agricoles mais aussi sur les différents bassins fluviaux du Pays. Ces fluctuations pluviométriques et thermiques ont pour corollaires la perturbation du calendrier agricole et l’insécurité alimentaire. La variabilité climatique s’est donc traduite par une fréquence accrue des événements extrêmes tels que les inondations et les sécheresses (Gautier, 1989). Le Bénin traverse depuis des décennies une tendance climatique marquée par des irrégularités saisonnières, une diminution des hauteurs de pluie, et l’augmentation des températures (Oyédé, 2019). Pour la température plusieurs travaux de recherche (Amoussou, 2016) s’accordent pour dire qu’elle a augmenté ces dernières décennies. Les rapports du GIEC montrent que la température a déjà augmenté de 0,6 °C en Afrique.

D'une manière globale, le Bénin présente des déficits pluviométriques assez significatifs et une augmentation de températures. Bon nombres d'études climatiques réalisées se sont limitées à l'analyse des données pluviométriques mensuelles. De même, des fréquences de jours de pluies et les dates de démarrage des saisons ont été très peu étudiées. C'est ainsi que cette étude permettra d'analyser les paramètres climatiques tels que la température de l'air, les précipitations, la fréquence des jours pluvieux et les caractéristiques agro-météorologiques afin d'étudier leur impact sur les régimes des précipitations.

Le présent article vise donc à actualiser les connaissances sur les caractéristiques spatio-temporelles de la variabilité climatique au Bénin en ciblant les deux principaux paramètres que sont la pluie et la température.

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

Située en Afrique de l'Ouest entre les latitudes 6°30' et 12°30' Nord et les longitudes 1° et 3°40' Est, la République du Bénin (figure 1) couvre une superficie de 114.763 km<sup>2</sup> avec une population d'environ 10.008.749 habitants (RGPH4, 2013). Administrativement, le Bénin compte actuellement douze (12) départements (Littoral, Atlantique, Ouémé, Plateau, Mono, Couffo, Borgou, Alibori, Donga, Zou, Collines, Atacora) subdivisés en 77 Communes. Le Bénin est situé dans une zone intertropicale, son climat est fortement influencé par la Mousson Ouest Africaine (MOA). Au sud où prédomine le régime de mousson (vents humides du sud-ouest), le climat est du type subéquatorial caractérisé par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. L'influence de la mousson est plus modérée dans le nord du pays caractérisé par (i) des masses d'air sec de l'alizé saharien séjournant plus longtemps au cours de leur mouvement vers les zones septentrionales de la sous-région ouest africaine, (ii) les masses d'air humides atteignent la latitude maximale habituellement en août, mois à partir duquel elles amorcent une régression et cèdent place à l'alizé du nord-est (harmattan). C'est cette dynamique qui confère à cette région, un climat de type tropical continental avec la succession d'une seule saison pluvieuse et d'une seule saison sèche dans l'année. Un climat de transition est observé entre les latitudes 7°N et 8°30'N où, selon les années, le régime pluviométrique est bimodal comme au sud ou monomodal comme au nord du pays, avec une pluviométrie moyenne annuelle variant entre 1000 et 1200 mm. Le Bénin dispose de cinq groupes de sols (ferrugineux, peu évolués, ferralitiques, hydromorphes, vertisols) qui sont formés sur les roches sédimentaires au Sud, cristallines au Centre et au Nord, et sur des dépôts alluviaux ou marins dans les milieux intra-zonaux (Amadji, 2016).

L'Agriculture occupe une place prépondérante dans le développement socio-économique du pays. La figure ci-dessous présente la situation géographique du Bénin.



Figure 1. Situation géographique du Bénin

## 2. Approche méthodologique

L'approche méthodologique utilisée est axée sur la collecte des données, leur traitement et l'analyse des résultats. La normale climatologique utilisée dans le cadre de cette étude est 1990-2020.

## 2.1 Données utilisées

Les données utilisées concernent la pluie la température pour la période allant de 1960 à 2021. Elles sont extraites de la base de l'Agence Béninoise de Météorologie (Météo-Bénin) et intéressent les six (06) stations synoptiques du Bénin (voir tableau 1).

**Tableau 1.** Stations synoptiques dont les données sont utilisées

Stations	Longitude (E)	Latitude (N)	Période concernée
Cotonou	2.38	6.35	1960- 2021
Bohicon	2.06	7.20	1960- 2021
Savè	2.46	8.03	1960- 2021
Parakou	2.6	9.35	1960- 2021
Kandi	2.93	11.13	1960- 2021
Natitingou	1.38	10.31	1960- 2021

## 2.2 Méthodes de traitement et d'analyse des données

### 2.2.1 Mise en évidence de la variabilité des valeurs de températures

La température est une composante fondamentale de la variabilité climatique. Cette température de l'air a été analysée à partir de statistique descriptive (valeurs moyennes) et de représentations graphiques. Cette analyse a été effectuée à partir des six (06) stations synoptiques du Bénin, ce qui a permis de comprendre la variation interannuelle de la température. En effet, ces températures ont une influence sur les précipitations d'une région à une autre. La température centrée réduite est calculée à l'aide de la formule :

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

Avec :  $x_i$  = température de l'année  $i$  ;  $\bar{x}$  et  $\sigma$  respectivement la moyenne et l'écart-type de la température moyenne interannuelle sur la période de référence (1990-2020). Ces indices de températures calculés ont permis de déterminer l'évolution thermométrique sur la période d'étude 1960-2021. La courbe de tendance a permis de déterminer la **moyenne mobile** qui est un outil d'analyse très simple permettant de mettre en place et **d'anticiper les retournements de tendances**.

### 2.2.2 Analyse de la variabilité pluviométrique

#### ➤ Cartographie des indices pluviométriques

Cet indice mesure l'écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période en se référant aux données stations. Il est utilisé pour analyser les périodes humides et sèches. Aussi, permet non seulement de générer la fréquence de chaque catégorie et de détecter les extrêmes. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation 1 (Servat *et al.* 1998) :

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \tag{1}$$

Avec :  $x_i$  = observation pour l'année  $i$  ;  $\bar{x}$  = *moyenne de la série* et  $\sigma$  = *écart type ou déviation standard de la série*. Cette cartographie a été réalisée à base du logiciel Surfer.

### ➤ **Variabilité des jours de pluie**

La fréquence des jours de pluie permet d'aborder les aspects de déficits et /ou des excédents pluviométriques saisonniers et annuels ainsi que sur les changements susceptibles d'affecter l'évolution des précipitations. En effet, ces déficits s'expliquent par la diminution de la fréquence des précipitations conformément au seuil définis. Toutefois, la caractérisation des régimes pluviométriques ne peut donc se limiter à une analyse statistique simple de cumuls pluviométriques.

Le test bilatéral des séries temporelles de Mann-Kendall a été appliqué pour analyser les tendances sur les données historiques. Il a été appliqué pour déterminer la p-value, avec une correction de continuité. Les tendances sont mises en évidence par une droite de régression de type affine:

$$y = ax + b;$$

Elle est obtenue par le calcul de la pente qui est un coefficient directeur:

- Si  $a > 0$ : tendance vers une augmentation;
- Si  $a < 0$ : tendance vers une diminution;
- Si  $a > 0$  ou  $a < 0$ :

l'application du test de Tendance de significativité de Mann Kendall et de correction de la pente de Sen est nécessaire à l'aide d'une démarche statistique ou d'une application (Doukpolo, 2013).

Tau de Kendall	1.000
S	435.000
Var(S)	0.000
p-value (bilatérale)	< 0.0001
alpha	0.99

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Etant donné que la p-value calculée < au niveau de signification  $\alpha = 0.99$ .

$H_0$  : Il n'y a pas de tendance dans la série

$H_a$  : Il existe une tendance dans la série

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle  $H_0$  alors qu'elle est vraie est inférieur à 0.01%.

### **2.2.3 Analyse de la variabilité intra-saisonnière des pluies**

#### **Calcul des paramètres agro-climatiques**

Ces paramètres sont calculés sur la base des critères consensuels utilisés lors des forums des Prévisions Saisonnières Agro-hydro-climatiques pour les zones Soudanienne et Sahélienne (Seydou et al, 2021).

- ***Date de début des saisons pluvieuses***

Le critère utilisé pour les pays soudano-sahéliens consiste à considérer la DDS, lorsqu'après le 15 mars, un cumul pluviométrique d'au moins 20 mm est enregistré en un à trois jours consécutifs, sans qu'il ne soit observé un épisode sec de plus de 20 jours dans les 30 jours qui suivent (Agali 2013). Pour les stations situées au Nord de l'isohyète 400 mm, le début de la saison est détecté lorsqu'une quantité de pluie de 15 mm est obtenue, à partir du 1er mai, en un à trois jours consécutifs sans un épisode sec de plus de 20 jours dans les 30 jours qui suivent. Pour les parties Nord des pays du Golfe de Guinée à régime pluviométrique monomodal (latitude > 8°N), la DDS est obtenu lorsqu'à partir du 15 mars une pluie d'au moins 20 mm est enregistré en un à trois jours consécutifs, sans épisode sec de plus de 10 jours dans les 30 jours qui suivent (Oyéde 2018).

- ***Date de fin des saisons pluvieuses***

Au sud du pays, la DFS est observée lorsqu'après le 1er septembre quand un sol capable de contenir 70 mm d'eau s'assèche suite à une évapotranspiration quotidienne de 5 mm (Agali 2013). Dans le Nord, la fin de la saison est observée lorsqu'à partir du 1er octobre, un sol capable de contenir 70 mm d'eau est complètement épuisé suite à une évapotranspiration journalière de 4 mm

- ***Séquences sèches en début de saison***

C'est le nombre de jours secs consécutifs le plus long pendant les 50 jours après la date de début de la saison.

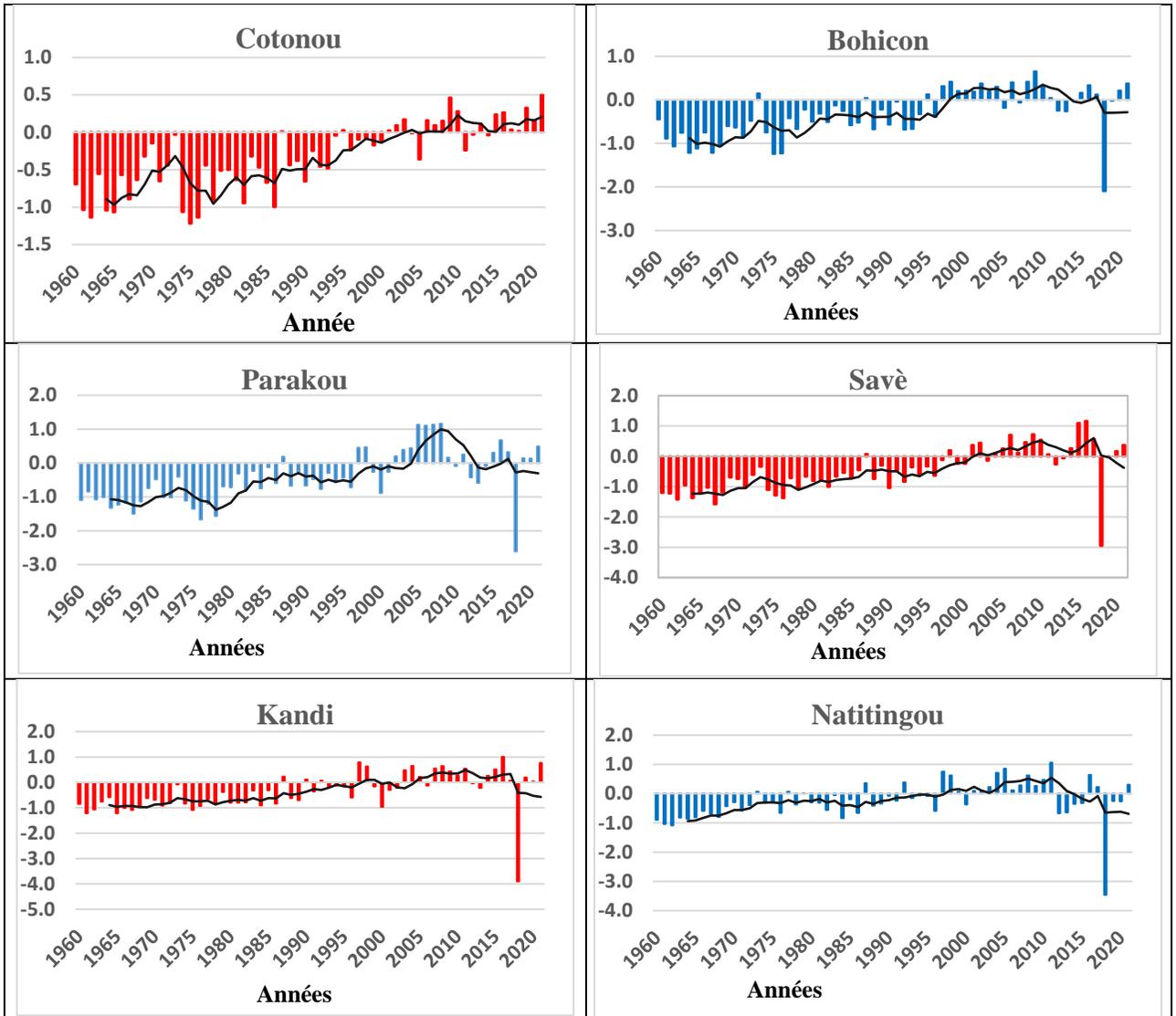
- ***Séquences sèches en fin de saison***

Les séquences sèches les plus longues vers la fin de la saison, c'est-à-dire sur la période prenant en compte les phases critiques d'épiaison-floraison et de maturation des cultures, se calculent à partir du 50<sup>ème</sup> jour après la date calculée de début de saison jusqu'à la date de fin de la saison (Agali 2013).

### **3. Résultats et discussions**

#### **3.1 Anomalies centrées réduites des températures au Bénin**

La figure 2 présente les anomalies centrées réduites des températures allant de 1960-2021 au Bénin.



**Figure 2.** Anomalies centrées réduites des températures au Bénin

Le Bénin a enregistré des anomalies de température négative allant de 1960 à 1999 au Sud du pays. Aussi, il a été observé des écarts positifs à partir des années 2011 en comparaison à la moyenne des trente dernières années. Outre la région du Littoral, le Bénin a enregistré en 2018 dans la plupart des stations des anomalies négatives significatives ( $> -2^{\circ}\text{C}$ ). Du centre jusqu'aux extrêmes Nord du pays, des écarts positifs ont été relevé courant la période de 2000 à 2010. La température moyenne est en dessous de la moyenne mobile sur l'ensemble du territoire nationale à l'exception de la station de Natitingou où il est enregistré une situation quasi-normale courant la période de 1970-1978. Les dix dernières années sont marquées par une perturbation

thermométriques significatives. En effet ces dernières années montre une recrudescence des températures dans la majeure partie du pays à l'exception du littoral où il est enregistré une tendance normale à légèrement excédentaire ( $\geq + 0.2^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.2 Variabilité spatiotemporelle des pluies

Pour la division des séries chronologiques en décennies, nous avons pris en considération les indices standardisés de précipitation (SPI). La figure 3 présente l'évolution décennale des indices pluviométriques de 1961 à 2021 au Bénin.

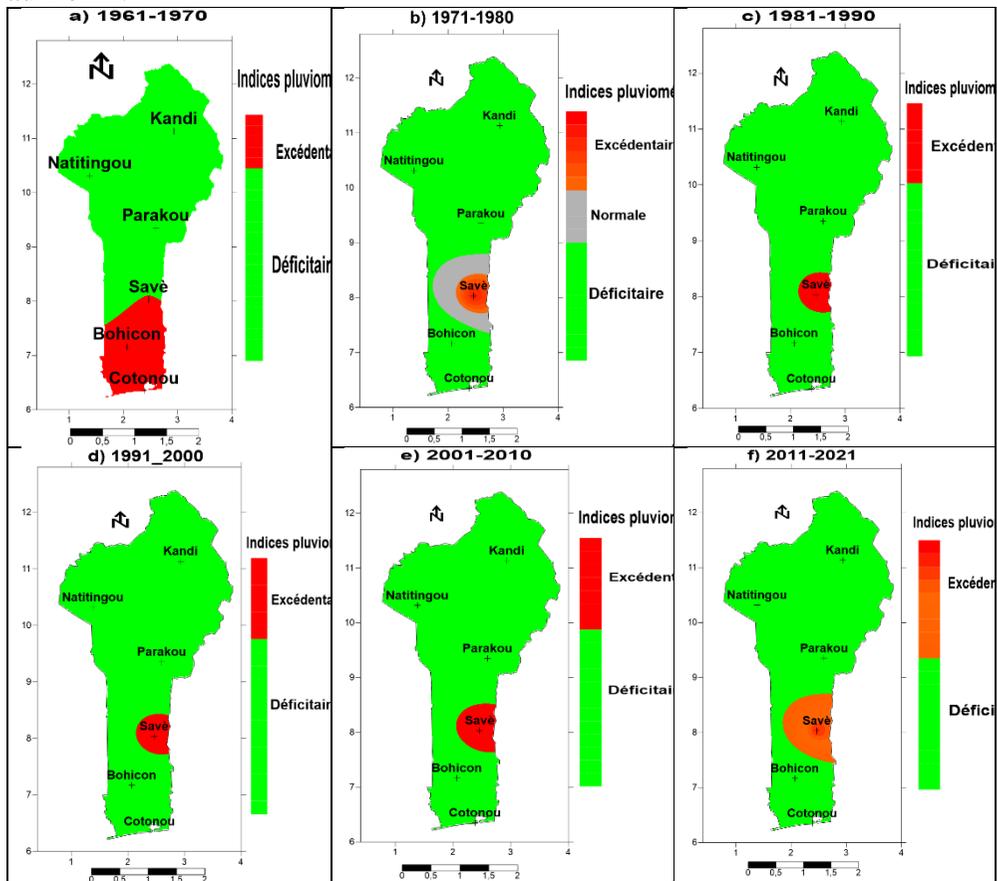


Figure 3. Caractérisation des indices pluviométriques de 1961 à 2021 au Bénin

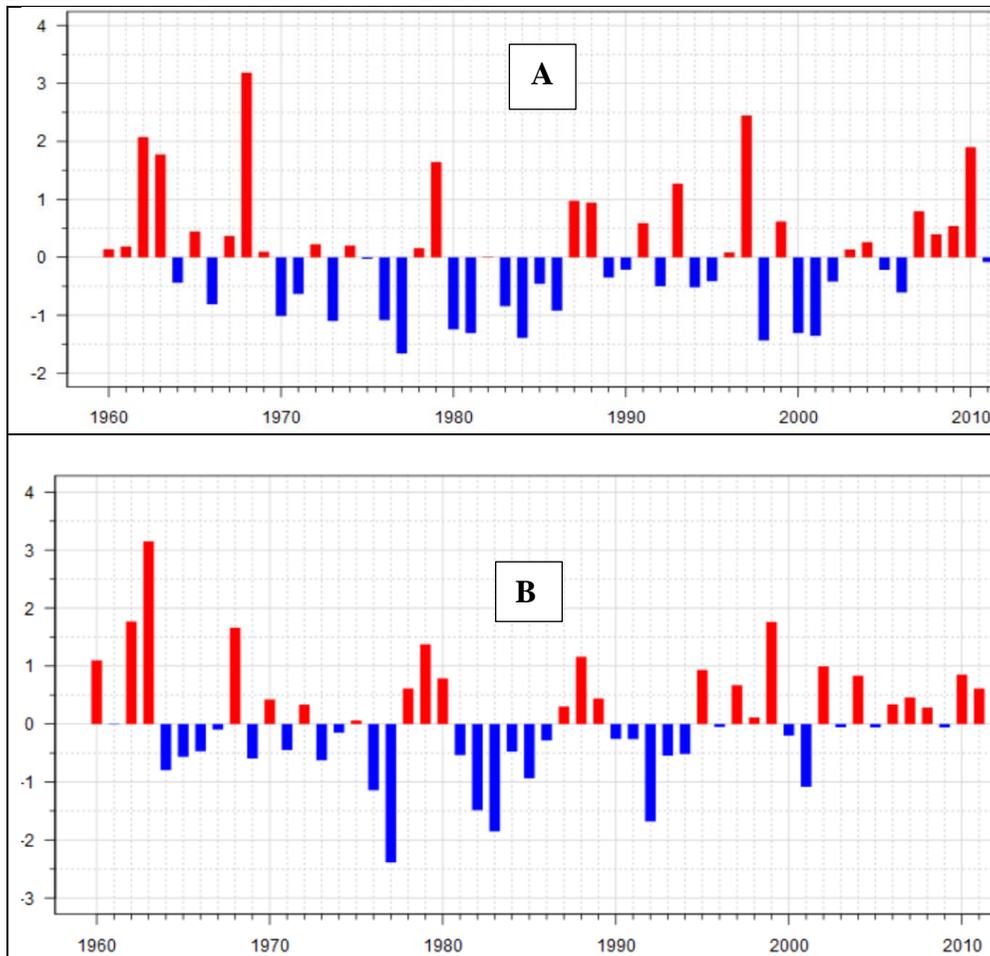
La figure 3 montre une variabilité temporelle et spatiale des valeurs d'indices pluviométriques. Dans l'ensemble, le Pays est caractérisé par une dominance des valeurs déficitaires quel que soit la décennie considérée. La décennie 1961-1970 a le plus connu de valeur excédentaire ayant touché toute la partie méridionale et centrale (Cotonou et Bohicon et Savè). Il convient de remarquer que la région de Savè située au centre du Pays est toujours

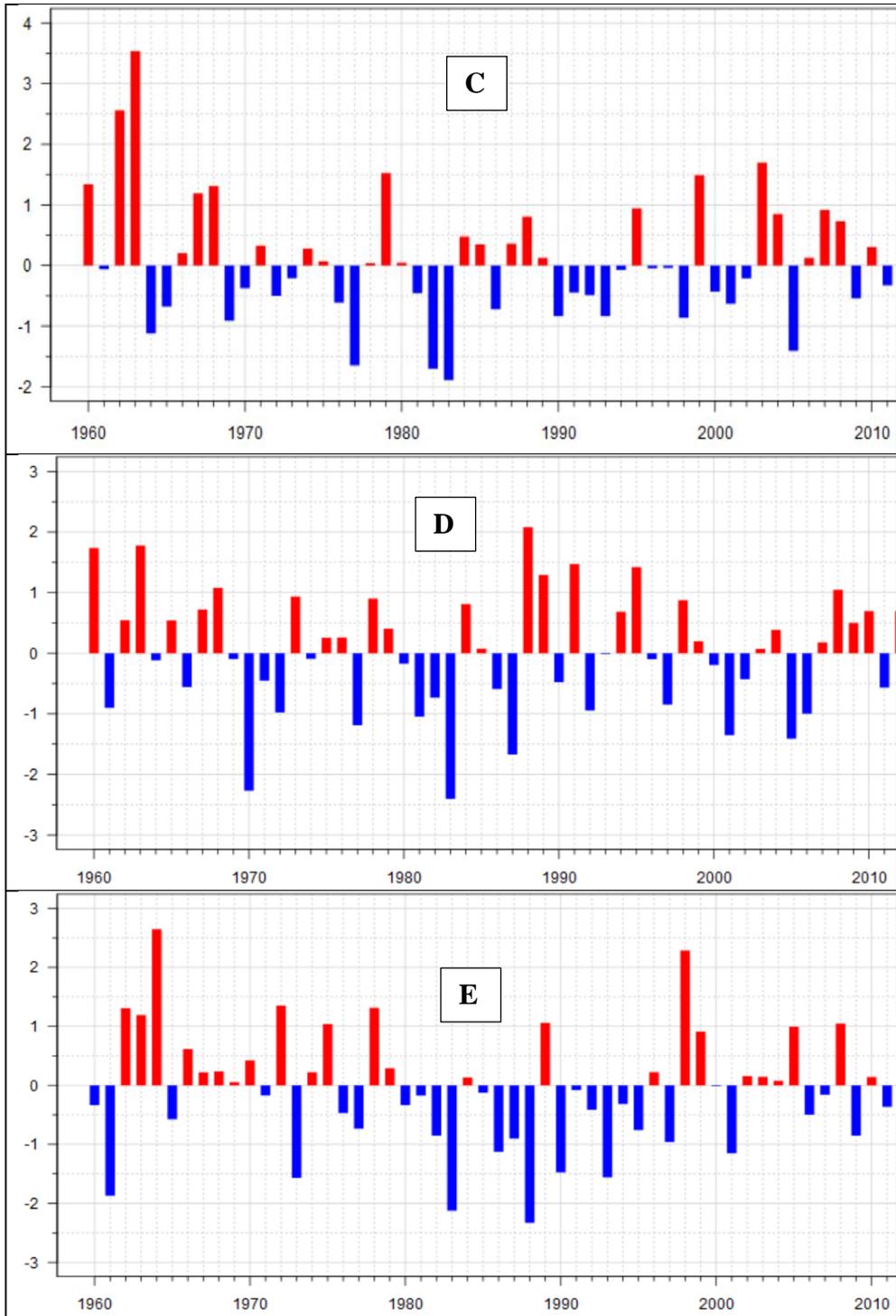
caractérisée par des valeurs excédentaires. Les valeurs proches de la normale sont enregistrées seulement au cours de la décennie 1971-1980 au centre du Bénin dans les milieux périphériques de Savè.

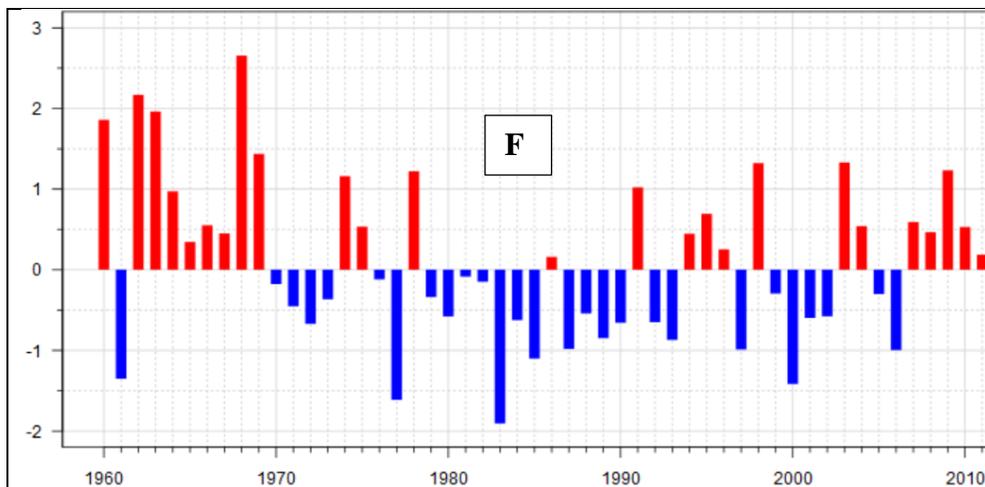
De 1961 à 1970, il est enregistré une situation excédentaire au Sud du pays conformément à la normale 1991-2020. Les échelles 1991- 2000 ont une tendance globalement excédentaire au centre-Est (Savè et environ). La décennie 1971-1980 est marquée par une situation excédentaire voir normale. Pour le reste des décennies (1981-2021), le Bénin a enregistré une situation globalement déficitaire dans la plupart des régions.

### 3.3 Evolution des anomalies centrées réduites des précipitations

La figure 3 permet de mieux appréhender l'évolution interannuelle des indices pluviométriques issus des stations synoptiques (figure 3). L'évolution de cette anomalie a permis de mieux analyser l'alternance des périodes humides et sèches entre 1960 et 2021.







**Figure 3.** Anomalies centrées réduites des précipitations dans les stations (A= Cotonou, B= Bohicon, C= Savè, D= Parakou, E= Kandi, F= Natitingou) du Bénin

La figure 3 montre que les dix dernières années sont marquées en général par des déficits pluviométriques. Par contre, il est enregistré des excédents pluviométriques peu significatifs dans les années de 2018 et 2019 dans les régions du centre (Savè), du Borgou (Parakou) et le Nord-Est (Kandi). La période de 1960-1970 est marquée en général par des excédents pluviométriques sur l'ensemble du territoire national. Cependant, des déficits pluviométriques sont plus enregistrés courant la période de 1980-1990. L'extrême Nord-Ouest (Natitingou et environs) du pays a connu des anomalies négatives pendant les dix dernières années. Il est aussi observé au sud intérieur (Bohicon) et le centre du pays (Savè) des anomalies négatives courant les dix dernières années.

**Tableau 2.** Ecart comparatifs des cumuls saisonniers des périodes de 1960 à 1990 puis de 1991 à 2021 par rapport à la moyenne

stations	MAM		AMJ		JAS		OND	
	1960-1990	1991-2021	1960-1990	1991-2021	1960-1990	1991-2021	1960-1990	1991-2021
Bohicon	7,7	1,2	16,9	1,2	-10,7	0,1	-2,2	-0,4
Cotonou	-3,8	-2,3	6,9	-3	-1,8	0,3	-10	-0,2
Savè	6,7	0,8	6,4	0,7	8,3	0,5	-3	0
Parakou	1,6	-0,7	5,9	0	-4,4	2,1	0	-0,5
Kandi	-3,8	-1,3	-2,5	-1,2	-4,9	3	-5,3	-0,6
Natitingou	6,2	-0,6	-3,7	-0,9	16,9	-0,6	1,2	0,7

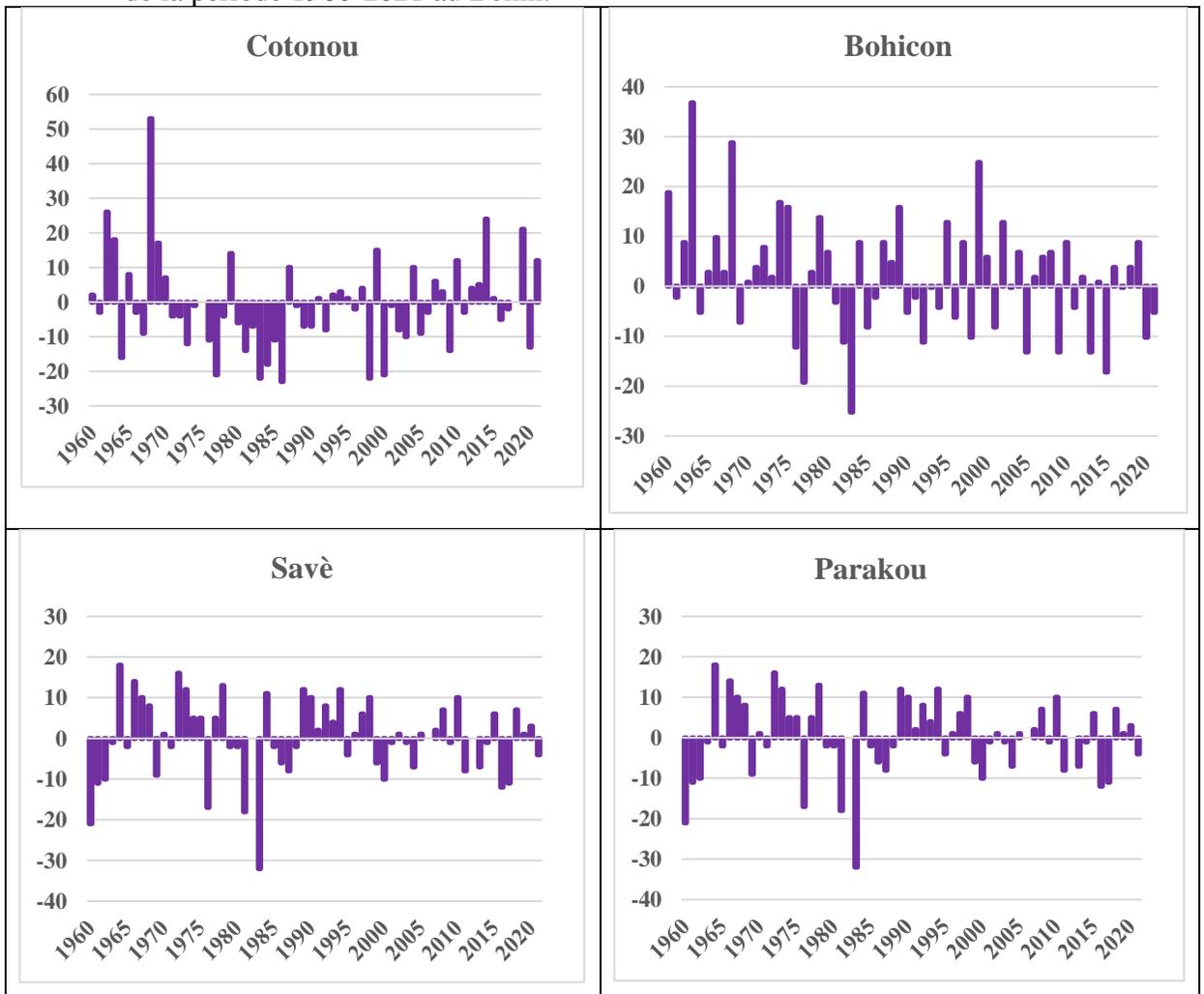
Source: Traitement des données

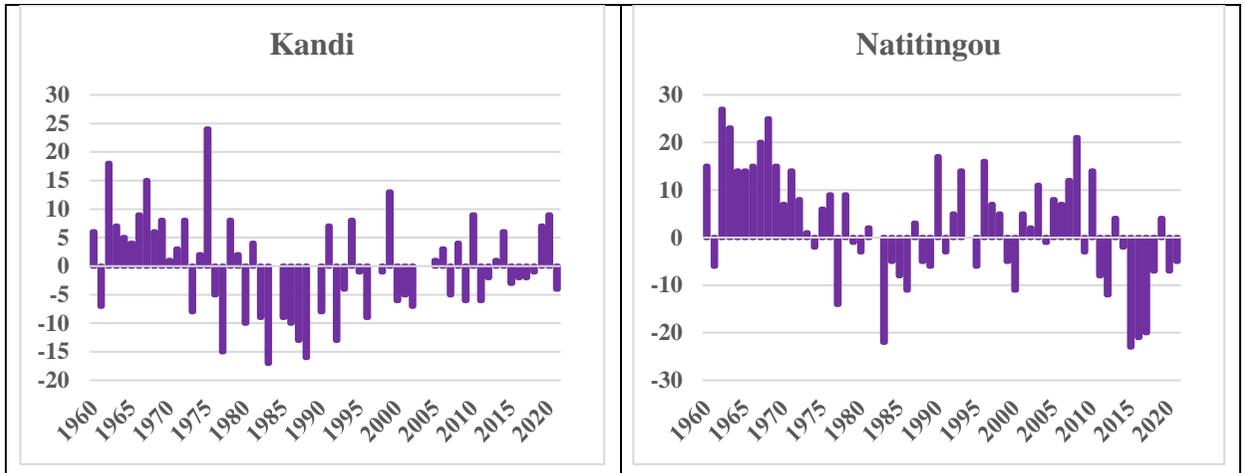
Le tableau 3 présente globalement des écarts globalement positifs allant du sud de l'intérieur jusqu'à la latitude du Borgou (Nord-Ouest). Toutefois, il est enregistré pour les deux périodes (1960-1990 et 1991-2021)

des écarts négatifs sur le littoral et dans l'extrême nord-Ouest du pays (Kandi et environs). L'extrême nord-Est du pays a quant à lui enregistré des écarts positifs courant la période de 1960-1990 (5,1) et négatifs durant la période de 1991-2021. Aussi des situations normales ont été observés courant la saison AMJ (1991-2021) et OND (1960- 1990) à Parakou et environ. La région du centre (Savè et environs) a enregistré une telle situation pendant la saison d'OND et courant la période 1991-2021). Au regard des écarts négatifs de cumul saisonniers enregistré, nous pouvons déduire que la période 1991-2021 a connu des déficits pluviométriques comparativement à celle de 1960-1990.

### 3.4 Variabilité du nombre de jours de pluie

La figure 4 présente la variabilité du nombre de jours de pluies allant de la période 1960-2021 au Bénin.





**Figure 4.** Variabilité du nombre de jours de pluie 1960-2021

Au Sud du pays (Cotonou, Bohicon), le nombre de jours de pluie reste élevé dans la période de 1960-1970. Le centre (Savè) et le Borgou (Parakou et environs) ont connu une diminution significative des jours de pluie dans les années 1980 à 1985. Les extrêmes Nord (Kandi, Natitingou) ont enregistré des anomalies positives dans la période de 1963- 1970. En comparaison à la moyenne, le Nord-Ouest (Natitingou et environ) a enregistré des jours de pluie inférieurs à la normale courant les dix dernières années.

**Tableau 3.** Analyse comparative des écarts de jours de pluie par rapport à la normale 1991-2020

Ecarts des jours de pluies	Cotonou	Bohicon	Savè	Parakou	Kandi	Natitingou
1960-1970	9	9	16	-1	7	15
1971-1980	4	-5	7	3	1	3
1981- 1990	-2	-10	-2	-4	-8	-4
1991- 2000	2	-2	-2	2	0	2
2001- 2010	1	-1	6	1	0	7
2011- 2021	-3	4	-4	-3	0	-9

De ce tableau, il est enregistré courant la période de 1960-1970 des écarts positifs dans presque toutes les stations synoptiques sauf celle de Parakou (Borgou) ou des écarts négatifs peu significatifs sont obtenus. Cependant la période de 1981-1990 a connus des écarts négatifs du nombre de jours de pluie en rapport à la normale. De 1991- 2021, il est enregistré une situation relativement normale du nombre de jours de pluie dans l'extrême nord-est du pays.

### 3.5 Analyse de l'évolution du nombre de jours de pluies au Bénin

Les fluctuations pluviométriques sont relevées dans le temps et dans l'espace. Cette fluctuation demeure importante au Bénin. Le tableau 3 présente la statistique descriptive des écarts de jours de pluie.

**Tableau 4.** Statistique descriptive des écarts de jours de pluie au Bénin

Station	Cotonou	Bohicon	Savè	Parakou	Kandi	Natitingou
Coef de cor	-0,176	-0,112	-0,197	-0,076	0,044	-0,361
P-Value	0,171	0,387	0,124	0,556	0,736	0,004

De ce tableau, il révèle que les stations de Parakou et de Kandi présentent un faible taux de coefficient de corrélation. La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Etant donné que la p-value est supérieure au niveau de signification  $\alpha=0.05$  dans les cinq (05) stations synoptiques, il est donc indispensable de notifier que l'hypothèse  $H_0$  est maintenue.

### 3.6 Variabilité intra-saisonnière des pluies

Le tableau 5 présente le comportement des caractéristiques agro-météorologiques des dates de démarrage des saisons. Cette variabilité présente en général des écarts significatifs dans la période de 1981-2000 ;

**Tableau 5.** Ecart des paramètres agro-météorologiques au Bénin

Stations	Dates de début		Dates de Fin		Séquences sèches début		Séquences Sèches fin	
	1981-2000	2001-2021	1981-2000	2001-2021	1981-2000	2001-2021	1981-2000	2001-2021
Cotonou	8	1	-3	0	0	0	4	0
Bohicon	-4	1	-1	1	0	0	0	0
Savè	2	0	-2	0	0	0	0	1
Kandi	-5	2	-3	1	0	0	2	0
Parakou	0	1	-4	0	0	0	2	0
Natitingou	0	-1	-4	0	1	1	1	0

Le tableau 5 présente des dates de début significatives courant la période de 1981-2000 à l'exception des stations de Parakou et Natitingou où il est observé une situation relativement moyenne. Les écarts des dates de fin des saisons sont inférieurs à la moyenne (1991-2020) dans toutes les stations synoptiques du Bénin et courant la période de 1981-2000. Cependant ces dates de fin présentent des écarts moyens à tardifs (supérieur à la moyenne) dans la période de 2000 à 2021. Les séquences sèches en fin de saison sont longues dans les régions du littoral, Borgou et Atacora dans la période de 1981-2000 tandis que dans la période allant de 2001 à 2021, les écarts des séquences sèches en fin de saison sont moyens (égal à la normal 1991-2020) à l'exception de la région du centre (Savè et environ) où il est enregistré des écarts positifs (séquences sèches longues).

#### 4. Discussion

Les caractéristiques spatio-temporelles de la variabilité climatique au Bénin sont marquées par la variabilité interannuelle et intra-saisonnière ainsi que l'évolution des températures. Toutes ces caractéristiques (dates de début et fin de saison des pluies, cumuls pluviométriques annuels, nombre total de jours de pluie et l'évolution des températures) étudiées présentent une forte variabilité inter ou intra-annuelle. Ces résultats corroborent avec les travaux réalisés par Eric et al, (2016) qui ont observé une perturbation du régime pluviométrique et une tendance à la hausse des températures dans les régions nord (Parakou, kandi, Natitingou) du pays à partir des années 2005. La température de l'année 2018 est marqué par un écart négatif très significatif dans toutes les stations synoptiques à l'exception de celle de Cotonou ( $< -2^{\circ}\text{C}$ ). Ce qui justifie la diminution de la température en cette année 2018. Toutes les régions du pays présentent un déficit pluviométrique à l'exception de la région du centre (Savè et environ) où il est enregistré des hauteurs d'eau supérieur à la moyenne au cours de cette période d'étude. Ce qui confirme les travaux de Servat *et al.* (1999) qui explique que certaines régions de l'Afrique de l'Ouest ont également vu une diminution des précipitations enregistrées hors saison des pluies. Ce phénomène marque un « renforcement » de la saison sèche qui contribue, tout à la fois, à la baisse des précipitations annuelles et à la nette perception du phénomène par les populations. La diminution du nombre annuel de jours de pluie, là où elle a pu être étudiée, est un corollaire vérifié du déficit pluviométrique observé.

Au regard des différents résultats obtenus, le Bénin présente une variation interannuelle de la pluviométrie déterminée par les indices pluviométriques. Ce qui confirme les résultats des travaux sur l'évolution du climat au Bénin (Amoussou, 2016). De même, presque toutes les stations ont connu de baisse de la pluviométrie. Des écarts négatifs enregistrés expliquent la situation déficitaire observée en 2021. Les variabilités pluviométriques extrêmes sont devenues fréquentes. Elles se caractérisent par les démarrages tardifs des pluies pendant les grandes saisons pluvieuses, la réduction du nombre de jours de pluie, le prolongement des saisons sèches (Oyédé *et al.*, 2018). De plus, pendant les années où il est enregistré des déficits pluviométriques, les ressources en eau ne sont pas totalement satisfaites dans la conduite de plusieurs activités et aussi dans la consommation des populations. (Saidou *et al.* 2021). L'insuffisance de pluie génère un retard de croissance des activités agricoles. L'instabilité climatique constitue un problème crucial pour le développement socio-économique de notre pays.

Les différents résultats obtenus sont concordants avec les conclusions de Oyédé (2019) qui révèlent que la répartition inégale des précipitations est source de dérégulation des dates de démarrage des saisons. Toutefois, le Bénin a enregistré des dates de début des saisons tardives pendant la grande saison

des pluies et courant la période d'étude. Les dates de fin quant à elles sont globalement normales. Les régimes pluviométriques saisonniers ont présentés des écarts négatifs pendant les trente dernières années, ce qui affectent les pratiques culturales. La présente étude montre que la période 1960-1970 est marquée par un excédent pluviométrique au Sud du pays tandis que celle de 1981-2021 révèle des déficits pluviométriques. Ce qui confirme les résultats du GIEC (2014) sur les années les plus chaudes enregistrées de par le monde. Le régime saisonnier est caractérisé par une forte variabilité interannuelle des précipitations. De même, à l'échelle spatiale que temporelle, le cycle saisonnier moyen se caractérise par une installation tardive et un retrait précoce des précipitations avec pour conséquence, la réduction de la durée de la saison des pluies au Bénin. En ce qui concerne la perturbation des paramètres climatiques sur les régimes pluviométriques, il est abordé la détermination des paramètres agro-climatiques à travers les dates de démarrage des saisons.

Les résultats de l'étude montrent une baisse des variables pluviométriques et une variation des températures au cours de la période d'étude (1960-2021). Les travaux antérieurs de Amani (2010) stipulent que la température est en droit de redouter une modification des régimes climatiques saisonniers au Bénin. Plusieurs travaux dont Richard (2002) met l'accent sur la variabilité interannuelle de la pluie qui s'est accru ainsi que les sécheresses qui sont devenues plus accusées et étendues dans notre milieu. L'évolution des hauteurs de pluie annuelles entraîne la perturbation des paramètres agro-météorologiques qui découle sur l'insécurité alimentaire.

La présente étude a montré une alternance des années déficitaires et excédentaires. Cette modification des précipitations contribue à la baisse des rendements et à l'insécurité alimentaire. Des perspectives devront être menées aux fins d'approfondir les connaissances sur la fréquence et l'intensité des pluies dans les couches vulnérables du pays.

## **Conclusion**

Cette étude révèle que le climat a connu une variation dans le temps et dans l'espace caractérisé par une succession des séquences déficitaires et des années excédentaires. Les périodes allant de 1981 à 2021 sont fortement influencées par les sécheresses, ce qui reflète la répartition inégale des pluies pendant cette période. La zone la plus arrosée sur toute la période d'étude est Savè et environs.

L'intérêt immédiat de la variabilité intra-saisonnière des pluies est de faciliter aux décideurs et aux professionnels des secteurs sensibles au climat, l'exécution des tâches de planification des activités saisonnières de production et de développement durable. Cette étude apporte non seulement un complément d'information à la manifestation de la variabilité climatique mais

aussi apparaît que les saisons des pluies sont généralement plus courtes, soit parce qu'elles commencent plus tard, soit parce qu'elles finissent plus tôt. De même, les quantités précipitées durant les saisons des pluies ont désormais une répartition inégale.

### References:

1. Agali A., Ly M., Sarr B. & Traoré S. B., (2013). Grandes tendances des caractéristiques de la saison des pluies en Afrique de l'Ouest. CILLS/GCCA, Sécheresse 2013 ; 24 : 282 –93 doi: 10.1684, 12 p.
2. Alamou E. A., Quenum G. M. L. D., Lawin E. A., Badou D. F. et Afouda A. (2016). Variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le bassin de l'Ouémé, Bénin. Afrique SCIENCE, 12(3), pp. 315 – 328.
3. Amadji Guillaume. (2016). Les principaux facteurs environnementaux "Sols du Bénin et couverture végétale". Les principaux facteurs environnementaux au Bénin", 128- 133p. <https://www.goethe-university-frankfurt.de>.
4. Amani Michel Kouassi, Koffi Fernand Kouamé, Yao Blaise Koffi, Kouakou Bernard Dje, Jean Emmanuel Paturel et Sekouba Oulare. (2010). Analyse de la variabilité climatique et ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Environnement, Nature, Paysage, 2010, 513 p.
5. Amoussou Ernest, Totin Vodounon Sourou Henri, Houndenou Constant, MAHE Gil, Camberlin Pierre, Boko Michel et Perard Jocelyne. (2016). Evolution climatique du Bénin de 1950 à 2010 et son influence sur les eaux de surface. XXIXe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie : « *Climat et pollution de l'air* » Besançon (France), pp. 231-236 p.
6. CSAO (Club des Amis de l'Afrique de l'Ouest). (2008). Climat, changements climatiques et pratiques agro-pastorales en zone sahélienne, Synthèse régionale, 8 p.
7. Djohy G. L., (2016). Vulnérabilité des ressources en eau au changement climatique et stratégies d'adaptation des maraichers des zones urbaines et péri-urbaines du Nord-Benin. Rapport de recherche, African Climate Change Fellowship Program, Parakou, 59 p.
8. Doukpolo Bertrand. (2013). Procédure de traitement des données d'observation, de simulation et de projection du climat, séjour scientifique, Annexe V du rapport final, 34 p.
9. Gautier F., Lubes-Niel H., Sabatier R., Masson J. M., Paturel J. E. & Servat E. (1998). Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de

- l'Ouest non sahéenne entre 1950 et 1989. *Hydrol. Sci. J.*, 43 (6), 921 – 936 p.
10. GIEC, 2014: Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 p.
  11. Hubert P., Servat E., Paturel J. E., Kouame B., Bendjoudi H., Carbonnel J. P., Lubes-Niel H. (1998). La procédure de segmentation dix ans après. *Publication IAHS*, n°250, 267-273p.
  12. Gowing J., (2003). Food security for sub-Saharan Africa: does water scarcity limit the options? *Land Use and Water Resources Research*, 3, 2.1–2.7.
  13. Hounzinmè S. Sylvie, Oyédé M. Inès. (2019). Vulnérabilité de la production du niébé (*vigna unguiculata*) face à la variabilité climatique dans la commune de Lokossa au Bénin, Agriculture, Environnement et Sciences de l'Ingénieur N° 15, ISSN : 1840-703X, Cotonou (Bénin) 15p.
  14. Idani M., Akindélé A. A., Médéou F. K., Ogouwalé E., (2013) : Stratégies d'adaptation paysannes aux changements climatiques dans l'arrondissement de Dassari (Bénin, Afrique de l'Ouest). Actes du XXVIème Colloque de l'AIC, 291-294 p.
  15. INSAE, (2016). Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin (RGPH-4, 2013). Février 2016. 85p.
  16. Mahe G. et Olivry J.C. (1995). Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Bulletin sécheresse*, vol. 6, n° 1,109-170 p.
  17. McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scale. *Report of the eighth Conference on Applied Climatology*. Anaheim (California), 6 p.
  18. Ogouwalé E., (2006). Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indications, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de Doctorat nouveau régime, EDP/FLASH, 302 p.

19. Oyédé M. Inès, Amoussou Ernest, Alamou Eric, Vissin W. Expedit (2018). Préviation agroclimatologique de la saison culturale 2017 dans huit communes au Benin ; Climat et Développement n °24, ISSN: 1840-5452  
ISBN-10: 99919-58-64-9, 14 p.
20. Oyédé M. Inès, (2019). Vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bonou. 235 p.
21. Richard Y., Camberlin P., Fauchereau N. (2002). El Nino-la Nina : cohérence intrasaisonnière de la variabilité pluviométrique interannuelle en Afrique du Sud », *Espace géographique*, vol. 1, 63-72 p.
22. Saidou Ibrahim Moussa, Kabirou Souley, Waidi Seydou, Sourou Henri Totin VODOUNON. (2021). Variations climatiques et dynamique des eaux de surface dans la commune rurale de bitinkodji au Niger ; Sciences Humaines n°17 – 2 ème Semestre 2021 ISSN 2630-1121, 17p. <http://publication.lecames.org>.
23. Servat E. (1994) : Identification et conséquences d'une variabilité du climat en Afrique de l'Ouest non sahélienne (ICCARE). SI : Antenne hydrologique, Orstom-Côte d'Ivoire, 23p.
24. Servat E., Patrel J.E., Kouamé B., Travaglio M., Ouédraogo M., Boyer J. F., Lubès-Niel H., Fritsch J.M., Masson J.M., Marieu B. (1999). « Différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne », *Revue des sciences de l'eau, IAHS. Publication*, vol. 252, 323-337 p. ISSN-0992-7158-1718-8598.
25. Seydou Tinni Halidou., Agali ALHASSANE., Issaka LONA., Ibrahim Bouzou Moussa (2021). Analyse De L'évolution Spatio-Temporelle Des Dérivés Pluviométriques caractérisant la saison agricole au Sahel – Central. *Afrique SCIENCE 19(6) (2021)102-121*.ISSN 1813-548X, <Http://Www.Afriquescience.Net>
26. Yousra Daki Ghalem Zahour. (2016). Caractérisation de la Sécheresse Climatique du Bassin Versant D'oum Er Rbia (Maroc) par le Biais de l'Indice de Précipitation Standardisé (SPI), *European Scientific Journal* May 2016 édition vol.12, No.14 ISSN: 1857 – 7881 - ISSN 1857- 7431.  
<https://doi.org/10.4000/cybergegeo.23388>