

Caractérisation des contraintes climatiques dans la commune de Dassa-Zoume au Bénin

René Ayéman Zodekon¹, Romaric Ogouwale¹, Léocadie Odoulami¹

1Département de Géographie et Aménagement du Territoire / Faculté des Sciences Humaines et Sociales / Université d'Abomey-Calavi

Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement LACEEDE) /DGAT/FLASH/ Université d'Abomey-Calavi (UAC). 03BP :1122 Cotonou, République du Bénin (Afrique de l'Ouest

Résumé

La méconnaissance des contraintes climatiques majeures limite l'efficacité des mesures d'adaptation développées par les populations de la commune de Dassa-Zoumé. La présente recherche a pour objectif de caractériser les typologies des contraintes climatiques afin d'envisager les mesures efficaces d'adaptation.

La méthodologie utilisée est basée sur la collecte des données, leur traitement et l'analyse des résultats obtenus. Deux principales données ont été utilisées dans le cadre de cette recherche. Il s'agit des données climatiques sur la période 1960-2017 et les données socio anthropologiques obtenues auprès de 231 ménages et 20 personnes ressources. Le traitement des données climatiques a consisté au comblement des données manquantes avec la Méthode du Vecteur Régionale. La caractérisation des contraintes climatiques a été faite par la détermination des paramètres de tendances centrales. Les tests de Pettitt et d'Ellipse de bois ont permis de détecter les ruptures pluviométriques. Le logiciel Kbronostats a permis de vérifier la normalité de la série étudiée puisque les données changées suivent une distribution normale. Le test d'indépendance de Chi-square (Chi2) a été réalisé grâce au logiciel Sphnix 4.5 a permis d'étudier la dépendance ou non entre les perceptions des ménages et les catégories des socioéconomiques et professionnelles.

Des résultats obtenus, il ressort que les contraintes climatiques constituent une réalité dans la commune de Dassa-Zoumé. Elles se manifestent par une tendance à la baisse des hauteurs avec l'alternance de 3 % des années sont extrêmement humides, 12 % des années fortement humides et 32 % des années modérément humides, soit 47 % d'années excédentaires. Par contre, 53 % de ces années sont déficitaires. L'application des tests de Pettitt, de Buisband et d'ellipse de bois ont permis de détecter une rupture pluviométrique en 1983 sur la série pluviométrique (1960-2017). L'analyse du régime mensuel post rupture (1984-2017) montre une diminution des pluies en novembre, décembre, janvier, mars, avril. Les déficits pluviométriques varient de -49 % dans le milieu de recherche. L'analyse comparative des données thermiques, montre que les températures post rupture ont connu une augmentation par rapport aux températures pré-rupture (0,0433x). Cette augmentation est de 0,0087 °C.

Mots clés : Bénin, Dassa-Zoumé, Contraintes climatiques, baisse des pluies, Augmentation de la température.

Characterization of climatic constraints in the commune of Dassa-Zoume in Benin

Abstract:

The lack of knowledge about major climatic constraints limits the effectiveness of adaptation measures developed by the populations of the municipality of Dassa-Zoume. This research aims to characterize the typologies of climatic constraints in order to consider effective adaptation measures.

The methodology used is based on data collection, processing and analysis of the results obtained. Two mains data were used in this research. These are climate data for the period 1960-2017 and socio-anthropological data obtained from 231 households and 20 resource persons. The processing of the climate data consisted of filling in the missing data with the Regional Vector Method. The characterization of climatic constraints was done by determining the central tendency parameters. Pettitt and Wood Ellipse tests were used to detect rainfall breaks. The Kbronostats software was used to check the normality of the series studied so that the changed data follow a normal distribution. The Chi-square (Chi2) test of independence was carried out using Sphnix 4.5 software to study the dependence between household perceptions and socio-economic and professional categories.

The results show that climatic constraints are a reality in the commune of Dassa-Zoume. They are manifested by a downward trend in rainfall, with 3% of years being extremely wet, 12% being very wet and 32% being moderately wet, i.e. 47% of years being surplus to requirements. On the other hand, 53% of these years are deficit years. The application of the Pettitt, Buisband and wood ellipse tests made it possible to detect a rainfall break in 1983 in the rainfall series (1960-2017). The analysis of the monthly regime after the break (1984-2017) shows a decrease in rainfall in November, December, January, March and April. Rainfall deficits vary from -49% in the research environment. The comparative analysis toward the thermal data, shows that the post-breakup temperatures experienced an increase over the pre-breakup temperatures (0.0433x). This increasing is 0.0087°C.

Key Words: Benin, Dassa-Zoume, Climatic constraints, Rainfall decrease, Temperature increasing

¹ Corresponding author: ayeraman90@gmail.com

INTRODUCTION

Les contraintes climatiques affectent les ressources en eau avec de diverses conséquences. Elles présentent des répercussions sur l'accessibilité et la continuité des services d'eau d'assainissement. Les impacts peuvent être immédiats, par exemple la destruction des infrastructures en cas d'inondation, mais aussi à plus long terme, par exemple dans le cas d'une baisse des ressources en eau disponibles. Elles sont considérées comme tout élément des systèmes spatiaux ou présent à la surface de la terre que les sociétés humaines doivent prendre en compte dans leur fonctionnement, ou qui peut gêner le fonctionnement des sociétés humaines (I. F. Yabi, 2008 ; p.27). Dans cette recherche, les contraintes climatiques se présentent comme l'inverse de l'aptitude. Elles sont les éléments que les sociétés humaines doivent prendre en compte pour leur épanouissement, y compris même des éléments qui paraissent a priori « favorables ». La présente recherche fait la typologie des contraintes climatiques enregistrées dans la commune de Dassa-Zoumé afin de proposer des mesures d'adaptation efficaces.

La commune de Dassa-Zoumé, chef-lieu du Département des Collines. Elle est comprise entre 7° 29' et 7° 57' de latitude nord et entre 2° 9' et 2° 13' de longitude est (figure 2). Elle couvre une superficie de 1711 km² et compte 112 122 habitants (INSAE, 2013 ; p.46). Elle est limitée au nord par la commune de Glazoué, au sud par la commune de Djidja, à l'est par les communes de Savè et Kétou, et à l'ouest par la commune de Savalou (figure 1). Elle est ceinturée par les collines à l'est et reçoit un apport pluvieux moins important que la commune de Savè. Ainsi, hauteur moyenne annuelle de pluie est d'environ de 1100 mm.

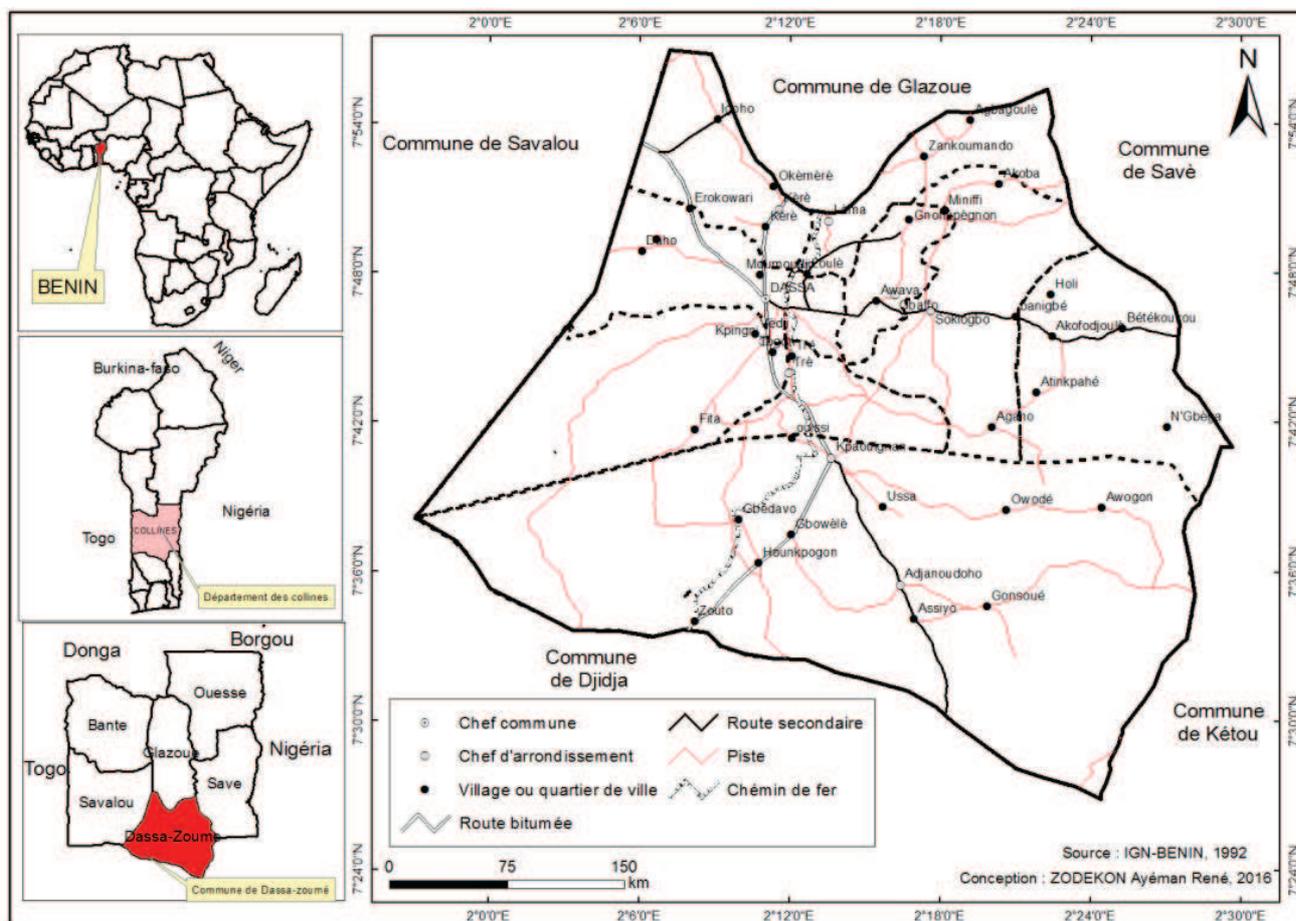


Figure 1 : Situation géographique et administrative de la commune de Dassa-Zoumé

La figure 1 présente la situation géographique et administrative de la commune de Dassa-Zoumé. Elle couvre une superficie de 1711 km² et compte 112 122 habitants (INSAE, 2013 ; p.34). Elle est limitée au nord par la commune de Glazoué, au sud par la commune de Djidja, à l'est par les communes de Savè et Kétou, et à l'ouest par la commune de Savalou.

Nature et sources des données utilisées

Deux principales données ont été utilisées en vue de caractériser les contraintes climatiques. Il s'agit entre autres :

- Données climatiques

Elles concernent les hauteurs de pluie (mensuelles et annuelles) et les températures minimales, moyennes et maximales (mensuelles et annuelles) sur la période de 1960 à 2017. Elles sont recueillies à METEO-Bénin. Le choix de cette série est motivé par le souci de disposer d'une normale autour de laquelle est recommandée pour les études relatives à la caractérisation du climat d'une région. Le tableau I présente les stations climatologiques retenues pour le travail et leurs caractéristiques.

Tableau I : Caractéristiques des stations retenues

Stations	Latitude	Longitude	Altitude	Type de stations
Savè	08 ° 02 nord	02 ° 08 est	199 m	Synoptique
Savalou	07 ° 56 nord	01 ° 59 est	174 m	Pluviométrique
Tchetti	07 ° 45 nord	01 ° 40 est	353 m	Pluviométrique
Dassa-Zoumè	07 ° 45 nord	02 ° 10 est	155 m	Pluviométrique
Toui	08 ° 40 nord	02 ° 36 est	316 m	Pluviométrique
Ouèssè	08 ° 39 nord	02 ° 23 est	233 m	Pluviométrique

Source : Base de données du LACEEDE, novembre 2017

Le tableau I présente les caractéristiques des stations retenues. Le choix de ces stations a été fait en fonction du nombre important d'années d'observations et de la présence des lacunes. Le critère lié à la taille de l'échantillon est basé sur les recommandations de l'Organisation Météorologique Mondiale, qui préconise l'utilisation d'une période minimale d'observation de 30 ans pour toute étude sur l'évolution du climat (OMM, 1992 ; p.527). Ces données ont permis de caractériser les typologies des contraintes climatiques dans la commune de Dassa-Zoumè.

- Données socio anthropologiques relatives à la perception des ménages

Pour mieux caractériser les contraintes climatiques, les perceptions des ménages ont été collectées et analysées puis confrontées aux résultats issus du traitement des données climatiques officielles.

Méthode de collectes données

Deux techniques de collectes ont servi de base. Il s'agit de la recherche documentaire et des enquêtes de terrain. La première a été faite au centre de documentation de Météo-Bénin. Elle a permis d'avoir les indicateurs chiffrés sur les paramètres climatiques. La seconde, grâce aux questionnaires et aux guides d'entretiens adressés aux ménages et aux personnes ressources, a permis de collecter les informations relatives aux perceptions des ménages des contraintes climatiques dans la commune de Dassa-Zoumè. La technique de choix raisonné a été utilisée pour l'identification des enquêtés. Les enquêtes socio anthropologiques ciblent les chefs ménages et les personnes ressources. L'unité de recherche est le ménage qui pratique les activités socioéconomiques consommatrices d'eau potable.

Le choix des personnes enquêtées repose sur l'un des critères suivants :

- être un chef de ménage ;
- être un acteur dans la production d'activités économiques.

La taille de l'échantillon a été déterminée par la formule de (D. Schwartz, 1995 ; p 278).

$X = Z \alpha^2 \times p \times q / i^2$; avec : X = la taille de l'échantillon ;

$Z \alpha = 1,96$ écart réduit correspondant à un risque α de 5 % ;

$p = n/N$; avec p = proportion des ménages dans les arrondissements retenus (n) par rapport au nombre total des ménages (N) dans la commune de Dassa-Zoumè.

Ainsi, $p = n/N = 13750 / 22647 = 0,60$ soit 60 % ;

$p = 0,60$ soit 60 % ; $i =$ précision désirée égale à 5 % et $q = 1 - 0,60 = 40$ %.

Donc, $X = (1,96)^2 \times 0,68 (0,32) / 0,06^2 = 231$

$X = (1,96)^2 \times 0,68 (0,32) / 0,0036 = 231$. En plus de ceux-ci, 20 personnes ressources ont été enquêtées. Les différentes collectées ont été traitées.

Méthode de traitement des données

Elle prend en compte le comblement des données manquantes et le traitement des données proprement dites.

Comblement des données lacunaires

Le comblement des données manquantes a été assuré par la Méthode du Vecteur Régional (Y. Brunet-Moret, 1971 ; p.28). Cette méthode (MVR) est un modèle simple qui permet de représenter les informations pluviométriques d'une station par une séquence d'indices annuels, représentatifs des précipitations dans la région et par des coefficients caractéristiques de chaque poste d'observation (G. Hiez *et al.*, 1992 ; p.43). Pour chaque station pluviométrique est calculé un indice, rapport de la pluie annuelle sur la pluie annuelle moyenne, donc supérieur à (1) un lorsque l'année est excédentaire et inférieur à (-1) un lorsqu'elle est déficitaire. La moyenne des indices obtenus pour l'ensemble de la station constitue la valeur représentative de la zone d'étude considérée (Z. A. Tra Bi, 2013 ; p.142). La série des indices annuels représentatifs est appelée vecteur régional, car elle prend en compte l'information d'une région supposée climatiquement homogène (G. Mahé et Y. L'Hôte, 1995 ; p.182). Deux méthodes sont couramment utilisées pour appliquer le vecteur régional : la méthode de G. Hiez (1977, p.143) et celle de Y. Brunet-Moret (1979, p. 153). La première est basée sur le mode (valeur la plus fréquente) ; la seconde sur la moyenne, en éliminant les valeurs trop particulières, afin d'éviter de contaminer les estimations par des données manifestement erronées (Z. A. Tra Bi, 2013 ; p.139). Pour cette étude, considérant que la moyenne est le meilleur estimateur (Z. A. Tra Bi, 2013 ; p.140), c'est la méthode de Brunet-Moret qui a été retenue. L'obtention des données climatiques officielles a permis de caractériser les contraintes climatiques.

Méthode de caractérisation des contraintes climatiques

L'étude des contraintes climatiques a nécessité l'utilisation des paramètres et méthodes statistiques suivants :

Paramètres de tendances centrales et de dispersions

- Moyenne arithmétique

Elle est utilisée pour étudier le régime pluviométrique du milieu de recherche. C'est le paramètre fondamental de tendance centrale, représentée ici par la « normale », moyenne calculée sur une série de cinquante-sept (57) ans. Elle s'exprime par la formule suivante :

$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ Avec n l'effectif total des variables ; x_i la valeur de la variable considérée ; i l'année considérée et \bar{X} la valeur annuelle des différentes variables.

Les tendances thermiques et pluvieuses ont été mises en évidence par une droite de régression de type $y = ax + b$, elle est obtenue par le calcul de la pente avec a le coefficient directeur. En dehors de la moyenne arithmétique, le calcul des paramètres de dispersion a été mis en évidence.

- Paramètres de dispersion

Il s'agit de l'écart-type et les indices de pluie standardisés.

Le calcul de l'écart type permet d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne « normale ». Il se détermine par le calcul de la racine carrée de la variance.

$\sigma(x) = \sqrt{V}$ où la variance V est écrite : $V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, l'écart type est l'indicateur de la variabilité par excellence.

- Anomalies centrées réduites

A partir du calcul de l'écart type, l'étude des anomalies centrées réduites pluviométriques interannuelles est faite. Les anomalies se calculent par la formule suivante :

$x'_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)}$: x_i = la valeur de la variable, \bar{x} = la moyenne de la série, $\sigma(x)$ = l'écart type de la série et x'_i = la valeur des anomalies centrée réduite.

Ainsi, certains seuils seront fixés pour l'Indice Pluviométrique (IP). Pour chaque seuil, le pourcentage du nombre de fois où l'IP est supérieur ou inférieur à certaines valeurs, est calculé sur plusieurs années.

L'anomalie centrée réduite a permis de déterminer les années à hauteurs pluviométriques extrêmes (tableau II).

Tableau XI: Grille d'appréciation des indices pluviométriques

IP > 1	Très pluvieuse
IP > - 1	Très sèche
IP < + 0,5	Pluvieuse
IP < 0,25	Normale
-0,25 < IP < -0,5	Sèche

Source : I. Ourrou Barré (2014, p.69)

Le tableau II présente la grille d'appréciation des indices pluviométriques. Elles permettent de mettre en évidence les différents types de saisons. En effet, lorsque $IP > 1$, la saison est dite très pluvieuse et très sèche lorsque $IP < -1$. La saison est dite sèche lorsque l'IP est comprise entre $-0,25 < IP < -0,5$. Elle est dite pluvieuse quand $IP < + 0,5$. L' $IP < 0,25$ implique une saison normale. En plus des indices pluviométriques, le bilan climatique a été mis en évidence sur la période de (1960-2017).

Mise en évidences des tendances

L'étude des tendances pluviométriques a utilisé les moyennes mobiles et la méthode de la régression. Elles ont été mises en évidence grâce au logiciel KHRONOSTAT qui regroupe différents tests statistiques. Ces tests sont spécifiques d'un changement de comportement de la variable dans la série temporelle.

- Les moyennes mobiles

Quand une chronique est très complexe (« bruit » important, cycle irrégulier, plusieurs tendances successives), on peut la simplifier pour donner une représentation graphique des phénomènes essentiels qui la composent.

La technique des moyennes mobiles consiste à lisser les irrégularités en associant aux valeurs y_{ti} d'une chronique de nouvelles valeurs \bar{y}_{ti} qui sont les moyennes arithmétiques d'une valeur originale y_{ti} et des valeurs qui l'encadrent. Les moyennes mobiles peuvent être calculées sur trois ans (1 valeur de part et d'autre de y_{ti}) ou cinq ans (2 de part et d'autre de y_{ti}).

- Statistique U de Buishand [Buishand, 1982; Buishand, 1984]

La statistique U de Buishand est de nature bayésienne et fait référence au modèle simple. En supposant une distribution *a priori* uniforme pour la position du point de rupture m , on définit la statistique U par :

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \text{ Avec } \text{sgn}(x) = 1 \text{ si } x > 0, 0 \text{ si } x = 0 \text{ et } -1 \text{ si } x < 0.$$

Elle s'avère performante pour tout changement de moyenne survenant au milieu de la série cependant le test de Buishand est un test paramétrique faisant l'hypothèse d'une distribution normale des variables de la série. Le logiciel **Khronostats** nous permet de vérifier la normalité de la série étudiée et dans le cas où celle-ci serait refusait la série est alors modifiée (Racine Carrée, Logarithme, Box et Cox) pour que les données changées suivent une distribution normale.

- Ellipse de Bois (Bois, 1972)

P. Bois (1972) a préconisé une méthode fondée sur le cumul des résidus. Elle permet de déterminer un seuil à partir duquel la cassure est significative. La difficulté revient à rechercher une courbe de contrôle telle que tout dépassement conduit à repousser l'hypothèse d'homogénéité de la série avec un seuil de confiance Choisi. P Bois a montré que la courbe de contrôle à une forme ellipsoïdale (ellipse).

Cette méthode permet de dilater les différences, ce qui amplifie largement la clarté du graphique spécialement dans le cas où les écarts types sont faibles. Dès que les valeurs sortent de cette ellipse l'hypothèse H0 est rejetée au seuil de confiance $1 - \alpha / 2$ soit un risque de 1^{ère} espèce α . La région de confiance est définie par :

$$\pm \frac{U_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{k(N-k)}}{\sqrt{(N-1)}} D_v$$

- Test de Pettitt

Le test de Pettitt est une approche non-paramétrique dérivée du test de Mann & Withney permettant d'identifier un point de rupture dans une séquence de variables aléatoires indépendantes $X_i, i = 1, N$.

Le test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne.

Pour cela on définit la variable :

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \text{ Avec } \text{sgn}(x) = 1 \text{ si } x > 0, 0 \text{ si } x = 0 \text{ et } -1 \text{ si } x < 0.$$

La faiblesse du test a pu être mise en évidence (Lubes-Niel *et al.*, 1998) sur les ruptures dans une série chronologique portant sur l'écart-type.

Méthode d'analyse des résultats obtenus

Le test d'indépendance de Chi-square (Chi2) a été réalisé grâce au logiciel Sphnix 4.5. Il a permis d'étudier la dépendance ou non entre les perceptions des ménages et les catégories des socioéconomiques et professionnelles.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques des contraintes climatiques dans la commune de Dassa-Zoumé

Les caractéristiques des contraintes climatiques sont mises en exergue à partir de l'analyse de la variation interannuelle des hauteurs de pluie, des indices pluviométriques. L'application du test de Pettitt, de BUISHAND et ellipse a permis détecter les éventuelles ruptures pluviométriques. Ces différentes analyses ont été complétées par l'analyse de la perception des ménages enquêtés. La commune de Dassa-Zoumé est marquée par une variabilité irrégulière des hauteurs de pluie.

Variation interannuelle des hauteurs de pluie

Les hauteurs annuelles de pluie ont connu une variabilité irrégulière avec un minimum de pluie annuelle enregistrée en 1983 (556 mm). La figure 27 présente la variation interannuelle et saisonnière des hauteurs de pluie sur la période de (1960-2017).

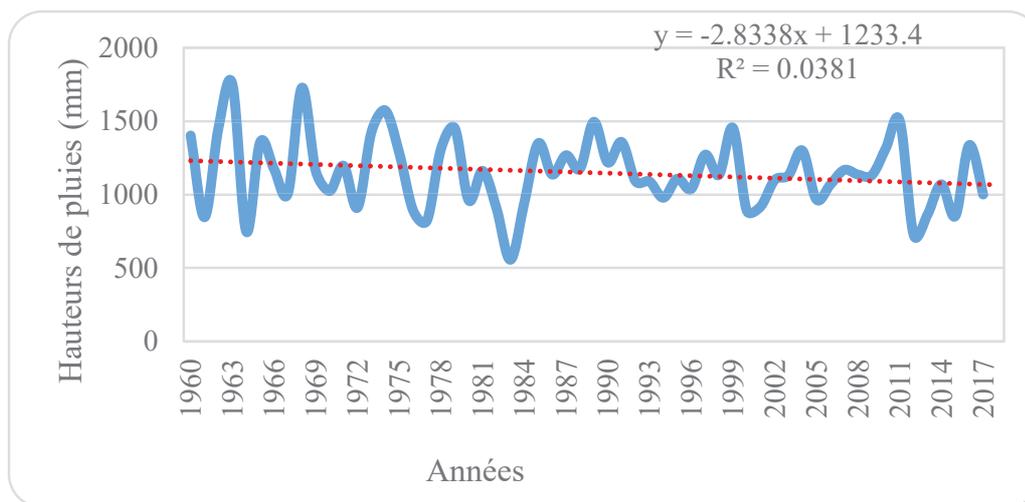


Figure 2 : Variation des hauteurs de pluie de 1960-2017

Source : METEO-Bénin, 2019

La figure 2 montre une variation interannuelle des hauteurs de pluie sur la période 1960-2017. Il ressort que, les hauteurs annuelles de pluie ont connu une variation interannuelle irrégulière. La hauteur maximale est enregistrée en 1963 avec 1742 mm de pluie. Celle minimale est enregistrée 1983 (556 mm). La courbe de tendance à une pente négative (-2,8338x) mais le coefficient de détermination est très faible ($R^2 = 0,0381$) et justifie une tendance à la baisse de la pluie de 1960 à 2017. Cette variabilité des hauteurs de pluie s'illustre par la mise en évidence des années excédentaires et déficitaires.

Analyses des indices pluviométriques

Les indices pluviométriques moyens ont permis d'analyser la variabilité temporelle des précipitations dans le milieu de recherche. L'Indice Standardisé des Précipitations correspond à la transformation de la série temporelle des précipitations en une distribution normale standardisée de moyenne nulle et d'écart-type unitaire, également appelée z-distribution, distribution normale ou distribution gaussienne (Amyay, 2012). La figure 3 présente les indices pluviométriques.

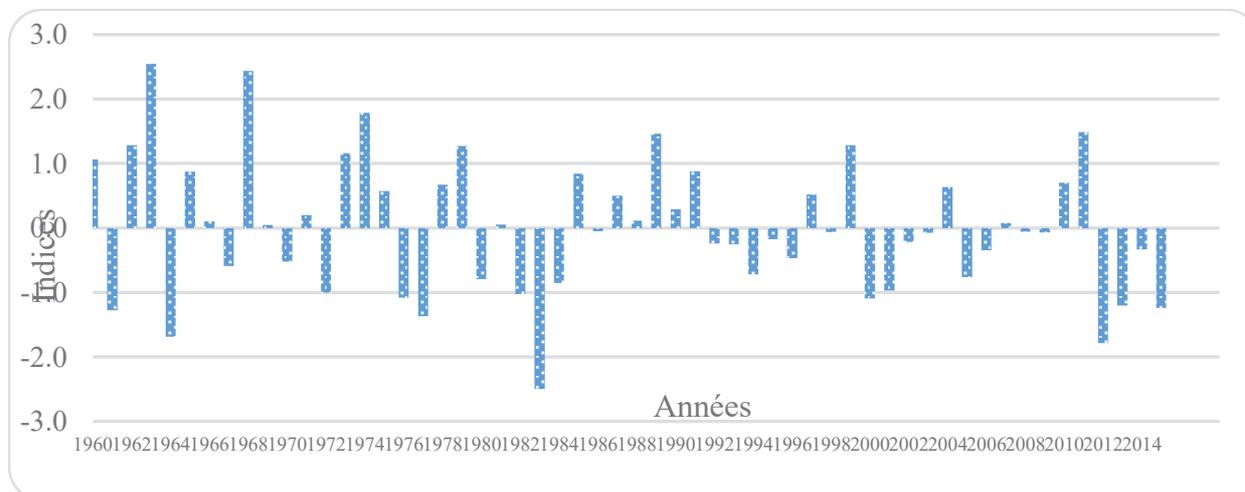


Figure 3 : Indices pluviométriques de la commune de Dassa-Zoumè de 1960-2017

Source : Traitement des données, METEO-Bénin, juillet 2019

La figure 3 présente les indices pluviométriques de la commune de Dassa-Zoumè sur la période 1960-2017. Il ressort que, les années 1963 et 1968 apparaissent comme étant exceptionnellement « pluvieuses » avec une anomalie de +2,5 et l'année 1983 est exceptionnellement « sèche » avec l'anomalie est de -2,5. En somme, la courbe d'indice pluviométrique reflète bien la grande variabilité interannuelle dans la commune de Dassa-Zoumè. La proportion de ses typologies d'années est mise en évidence la figure 4.

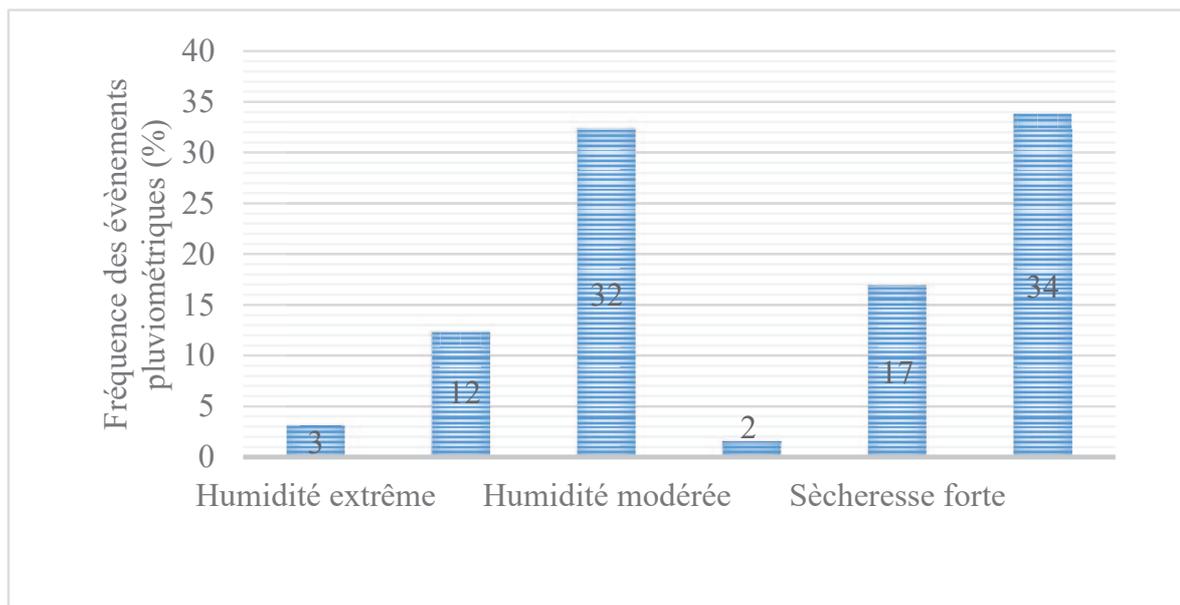
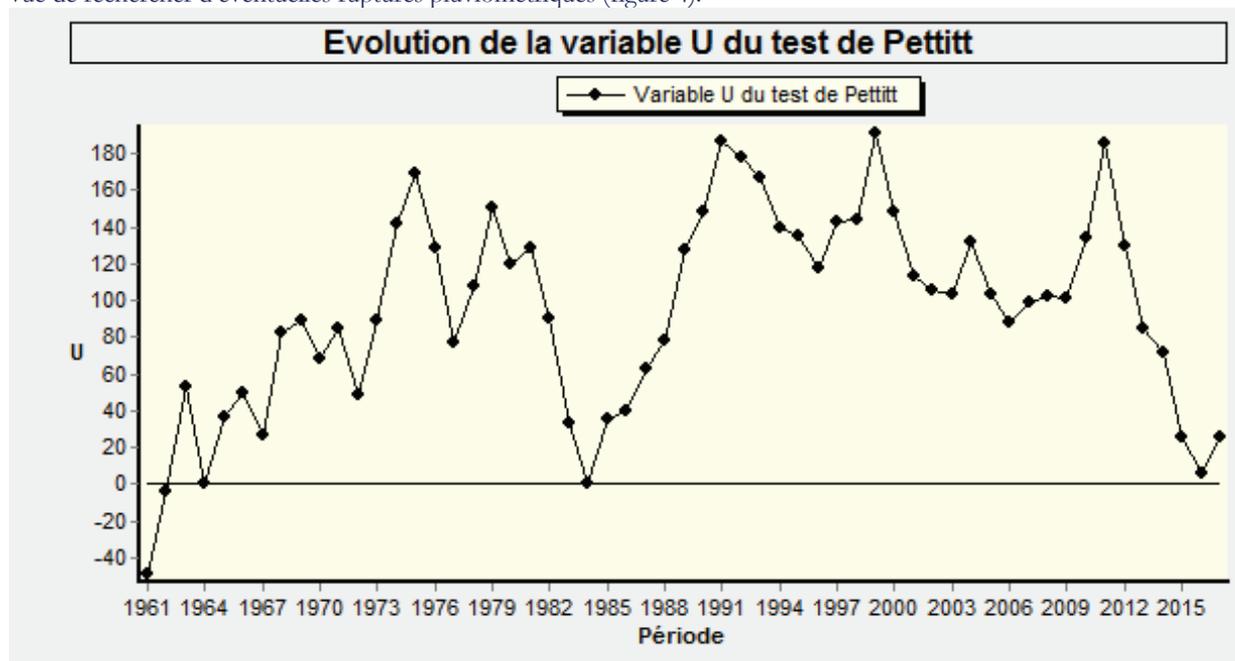


Figure 4 : Typologie des années sur la période 1960-2017
Source : Traitement des données pluviométriques, Juin 2019

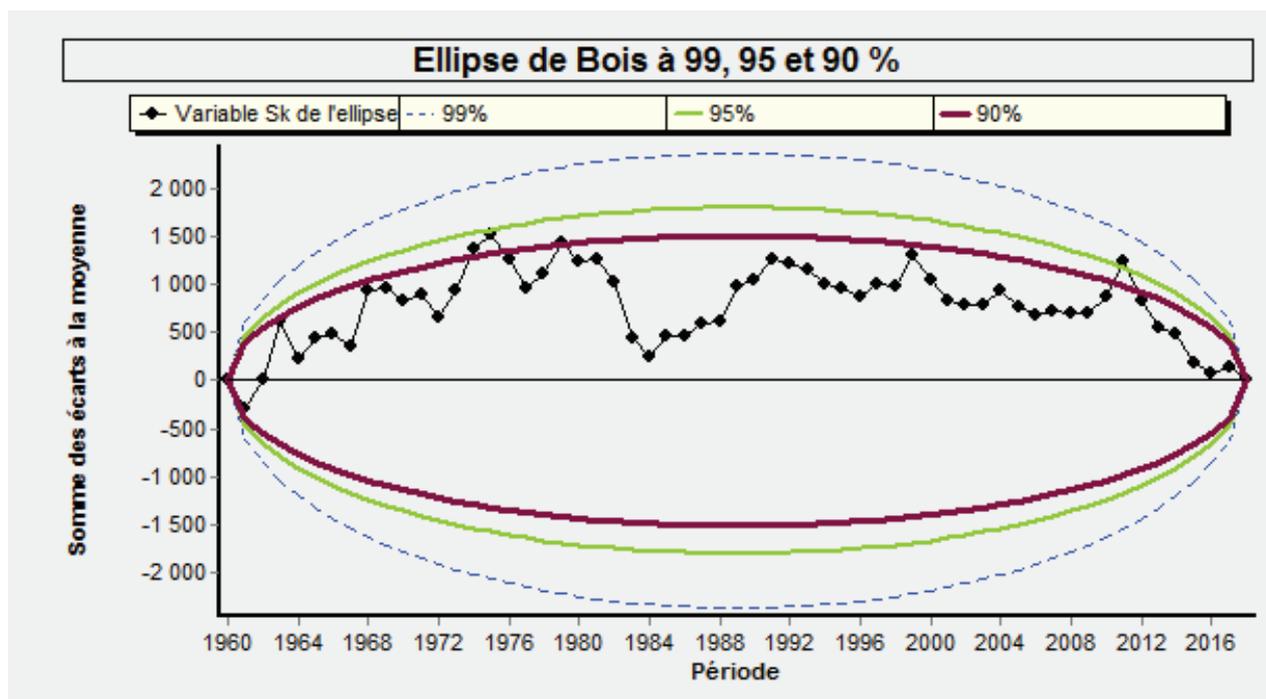
La figure 4 présente la fréquence des évènements pluvieux sur la période de 1960-2017. On déduit que, 3 % des années sont extrêmement humides, 12 % fortement humides et 32 % sont modérément humides. L'ensemble de ces années, sont qualifiées d'années excédentaires, soit 47 % d'années excédentaires. Par contre, 53 % de ces années sont déficitaires. La modification du régime pluviométrique et des totaux annuels observés attestent déjà la variabilité pluviométrique dans le secteur d'étude. Les déficits et les excédents pluviométriques prononcés posent d'énormes difficultés de gestion des ressources en eau à la population. La recherche d'éventuelles ruptures de stationnarité a permis de mieux observer l'évolution des précipitations.

Résultats du test de rupture de Pettitt et déficits pluviométriques

L'analyse des séries chronologiques (1960 à 2017) a été réalisée avec l'application du test de Pettitt de BUIHAND et d'ellipse en vue de rechercher d'éventuelles ruptures pluviométriques (figure 4).



(a) Evolution de la variable U du test de Pettitt



(b) Variable Sk de l'ellipse de bois (Test de Buishand

Figure 4 : Recherche d'éventuelle rupture de stationnarité sur quelques stations du Centre-Bénin (1960-2017)

Source : Traitement des données METEO-Bénin, Juin 2019

La figure 4 présente, l'application du test de Pettitt permet de confirmer ou d'infirmer les ruptures perceptibles à partir des indices pluviométriques. Il ressort que la rupture est ici traduite par un changement brutal dans l'allure d'évolution de la courbe. En effet, l'application du test de Pettitt complétée par la méthode de l'ellipse de bois ont permis de détecter des ruptures (modifications) de stationnarité dans les séries pluviométriques à partir de 1970.

Le tableau III présente la synthèse des résultats du test de Pettitt.

Tableau XII : Résultats du test de rupture de Pettitt (1979)

Station	Période	Année de la rupture	Moyenne avant la rupture	Moyenne après la rupture	Déficit pluviométrique
Savè	1960-2017	1983	1170	1121	-49

Source : Traitement des données METEO-Bénin, Juin 2019

Le tableau III présente le résultat du test de rupture de Pettitt (1979). Il ressort que, des résultats consignés dans le tableau, montre une grande rupture soupçonnées par les indices autour de 1983 a été confirmée par le test. L'hypothèse nulle d'absence de rupture a été rejetée aux seuils de confiance de 99 %, 95 % et 90 %. La probabilité associée au test montre que la rupture constatée au sein de la série pluviométrique est très significatives (seuils inférieurs à 1 %). L'ampleur de la baisse pluviométrique a été quantifiée par le calcul du déficit à la rupture détectée dans la série. Les déficits pluviométriques varient de -49 % dans le milieu de recherche.

Variations saisonnières des précipitations avant et après rupture

Les fluctuations mensuelles de la pluviométrie avant et après la rupture ont été analysées afin de mieux percevoir les variations. L'observation de la figure 5 montre la distribution des précipitations mensuelles avant et après rupture est similaire.

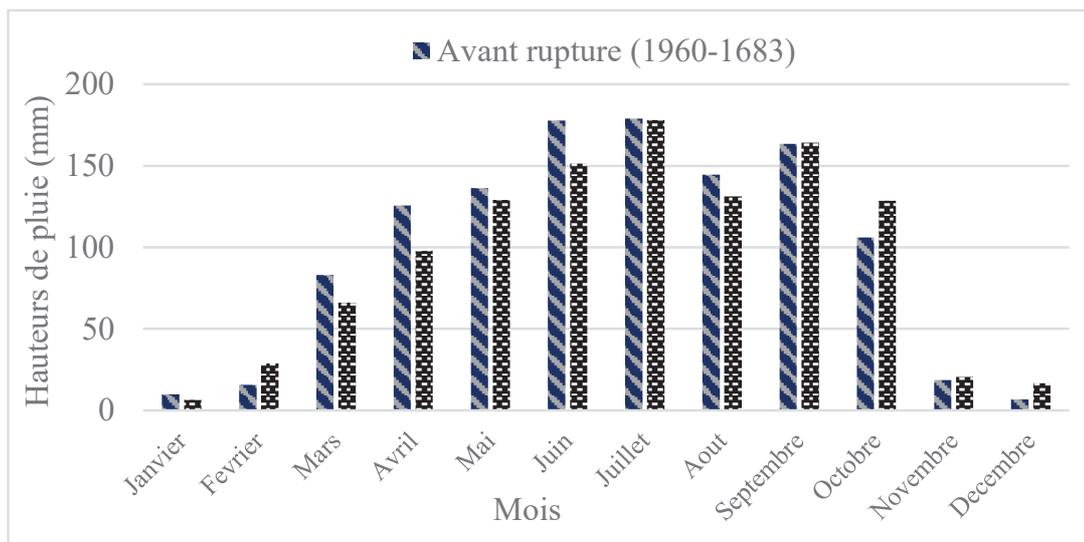


Figure 5 : Variation des pluies moyennes mensuelles par sous-période dans la commune de Dassa-Zoumé

Source : Traitement des données METEO-Bénin, Juin 2019.

La figure 5 présente la variation des pluies moyennes mensuelles par sous-période dans la commune de Dassa-Zoumé. Elle révèle que le régime mensuel pré-rupture (1960-1983) montre une hausse considérable des lames d'eau précipitée notamment au cours des mois sensibles d'avril, juin, juillet qui correspondent aux mois les plus humides donc à la période probable de recharge des réservoirs souterrains pour alimentation en eau de la population. La période post rupture (1984-2017) montre une diminution des pluies en novembre, décembre, janvier, mars, avril. Ces mois correspondent aux mois secs ou la demande en eau devient forte chez les populations.

Au cours de ses mois, les services d'eau sont plus sollicités pour l'approvisionnement en eau des ménages. Les hauteurs de pluie ont varié de façon saisonnière (figure 6).

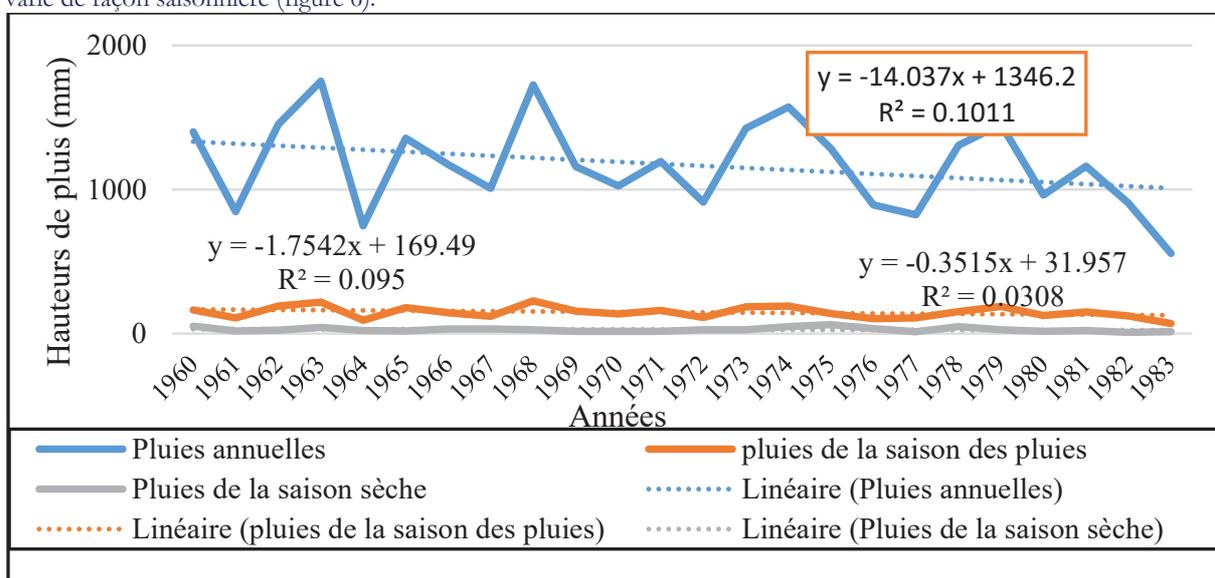


Figure 6 : Evolution des pluies annuelles moyennes ; totaux de précipitations en saison sèche, en saison des pluies sur la période 1960-1983

Source : Traitement des données METEO-Bénin, Juin 2019

La figure 6 présente également l'évolution des totaux de précipitations annuelles et saisonnière (saison des pluies et saison sèche) de 1960 à 1983, la période pré rupture. Les totaux annuels de précipitations varient entre 1727 mm en 1968 et 556,2 mm en 1993. L'écart entre le maximum et le minimum de la série est de 948,3 mm. La pluviométrie connaît donc une grande variabilité avec un coefficient de variation de -14. Toutefois, la pluviométrie de la saison sèche est plus aléatoire et variable avec CV = -0.3 que

celle de la saison des pluies où CV = 1,7. En dehors de la période pré-rupture, les pluies saisonnières ont aussi connu une variation (figure 7).

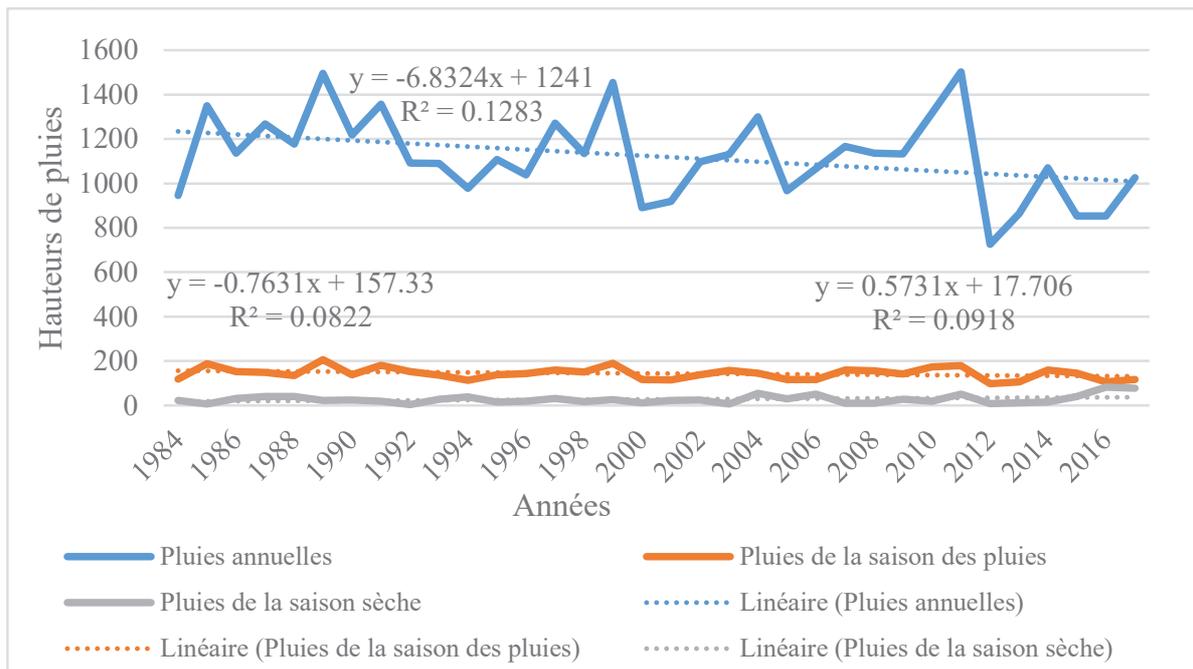


Figure 7 : Evolution des pluies annuelles moyennes ; totaux de précipitations en saison sèche, en saison des pluies sur la période 1984-2017

Source : Traitement des données METEO-Bénin, Juin 2019

La figure 7 présente également l'évolution des totaux de précipitations annuelles et saisonnière (saison des pluies et saison sèche) de 1984 à 2017, la période post-rupture. Il ressort que, les totaux annuels de précipitations varient entre 1502 mm en 2011 et 725,7 mm en 2012. L'écart entre le maximum et le minimum de la série est de 776,3 mm. La pluviométrie connaît donc une grande variabilité avec un coefficient de variation de 6. Toutefois, la pluviométrie de la saison sèche est plus aléatoire et variable avec CV = -0,5 que celle de la saison des pluies où CV = -0,7. Les hauteurs de pluie annuelles et saisonnières ont connu une variation irrégulière. Cette variation est marquée par un déficit de 172 mm de pluie sur la période post-rupture. En dehors de la variation pluviométrique. Cette baisse des hauteurs de pluie sont conformes aux résultats de plusieurs auteurs au Bénin en Afrique et dans le monde.

Caractérisation des contraintes thermiques dans la commune de Dassa-Zoumé

Cette partie analyse la variation intermensuelle et celle interannuelle des températures dans la commune de Dassa-Zoumé.

Variation intermensuelle des températures

Les températures mensuelles ont connu une évolution irrégulière avec une tendance à la hausse. Le tableau IV présente les mensuels des températures maximales et minimales.

Tableau IV : Ecart mensuel des températures maximales et minimales pré-rupture et post-rupture

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	septembre	Octobre	Novembre	Décembre
T° maxi	0,31	0,32	0,15	0,17	0,02	0,12	0,09	0,05	0,13	0,11	0,1	0,12
T° mini	0,42	0,46	0,82	0,9	0,69	0,83	0,69	0,66	0,7	0,58	0,81	0,95

Source : Traitement des données METEO-Bénin, Juin 2019

L'examen des données du tableau IV montre que les températures maximales ont augmenté sur tous les mois. Cette augmentation est comprise entre 0,02 et 0,32 °C. L'écart de la température maximale, le plus élevé est enregistré en février (0,32 °C) et l'écart le moins important entre les températures maximales est enregistré au mois de mai (0,02 °C).

Il ressort du tableau IV que tous les mois ont connu une augmentation des températures minimales pré-rupture et post-rupture. La plus forte augmentation de températures minimales a été enregistrée en décembre (0,95 °C) et la plus faible augmentation de températures minimales a été enregistrée en janvier (0,42 °C). Les températures annuelles ont connu une tendance à la hausse.

Variation interannuelle des températures

La commune de Dassa-Zoumé est marquée par variabilité interannuelle irrégulière des températures maximales et minimales. La figure 9 présente la variabilité interannuelle des températures maximales pré et post rupture.

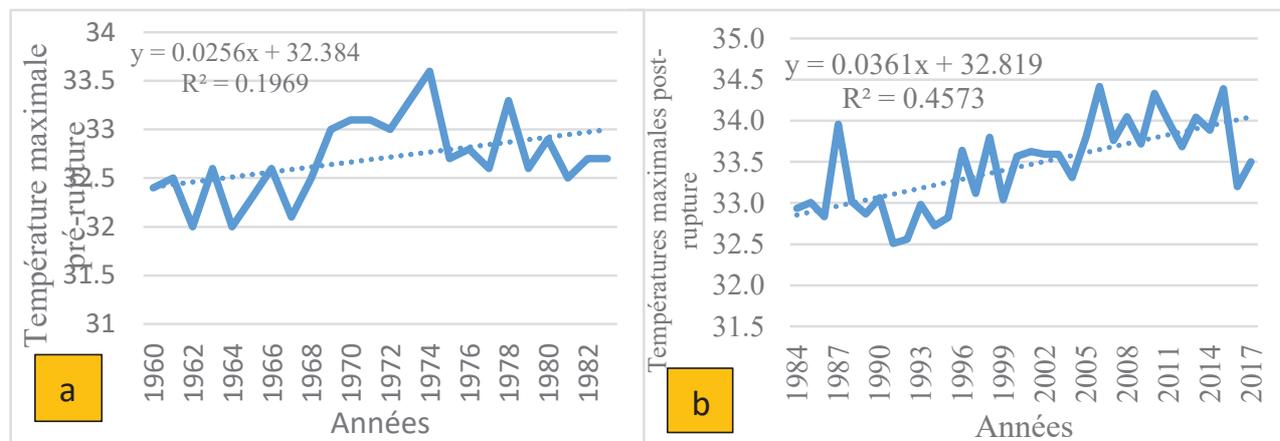


Figure 9: Variabilité interannuelle des températures maximales pré-rupture (a) et post rupture (b)

Source : Traitement des données MÈTEO-Bénin, Juin 2019

La figure 9 montre la variabilité interannuelle des températures maximales pré-rupture et post rupture. Il ressort que la température maximale varie entre 32 °C en 1962 et 33,6 °C en 1974 sur la période pré-rupture et entre 32,5 °C et 34,4 °C sur la période post rupture. Il ressort que, de 1960-2017, la commune de Dassa-Zoumé a connu de fortes variabilités interannuelles des températures maximales. Cette variation se justifie par les différentes fluctuations observées sur toutes deux périodes. En effet, les températures les plus élevées de la période pré-rupture ont été enregistrées en 1974 avec une température moyenne annuelle égale à 33,6 °C et en 1973 avec une température moyenne annuelle égale à 33,3 °C, la courbe de tendance à une pente positive (0,0256x) avec le coefficient de détermination est faible ($R^2 = 0,1969$) et justifie une tendance à l'augmentation des températures maximales pré-rupture.

Au niveau de la période post rupture, la température maximale a été enregistrée en 2006 avec une température moyenne annuelle égale à 34,4 °C. La valeur élevée du coefficient de détermination (0,4573) soit 45,73 % montre une tendance thermométrique à la hausse au cours de la période post-rupture. L'analyse comparative des températures maximales pré-rupture et post rupture permet de constater que, les températures maximales post rupture (0,0361x) ont connu une augmentation par rapport aux températures maximales pré-rupture (0,0256 x). Cette augmentation de températures maximales post rupture est de 0,0105 °C.

Les fluctuations thermiques observées sur la période de recherche, permet de faire ressortir une tendance à la hausse des températures maximales sur la série 1960-2017, ce qui traduit relativement un réchauffement climatique. Ce réchauffement influence la disponibilité des ressources en eau. Les températures minimales ont connu aussi une variabilité. La figure 10 présente la variabilité interannuelle des températures minimales pré et post rupture.

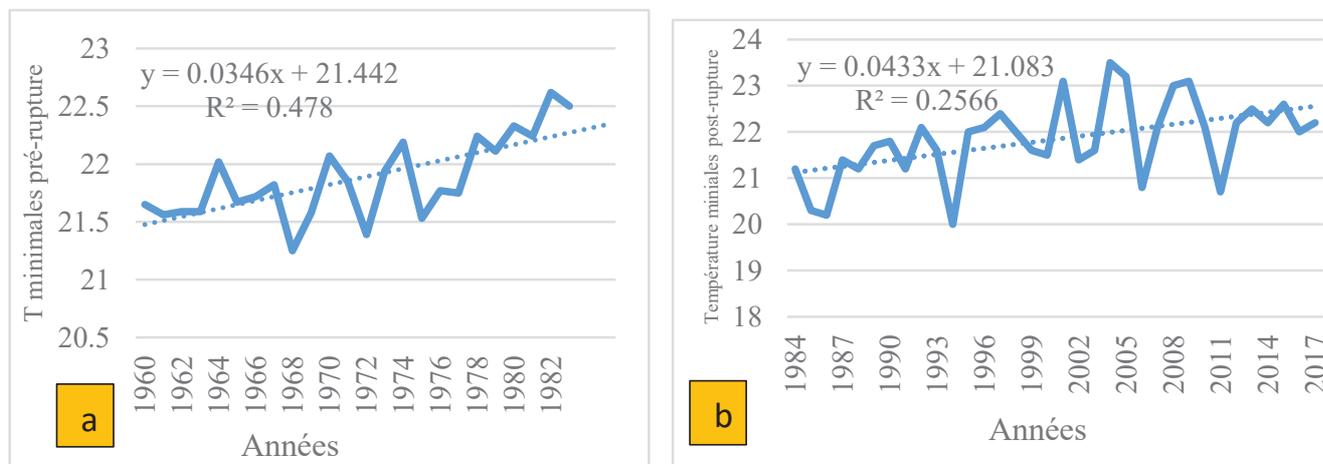


Figure 10: Variabilité interannuelle des températures minimales pré-rupture (a) et post rupture (b)

Source : Traitement des données MÈTEO-Bénin, Juin 2019

La figure 10 la variabilité interannuelle des températures minimales pré-rupture (et post rupture. Il ressort que, la température minimale est passée de 20 °C à 23,5 °C sur la pré-rupture et de 21,25 °C à 22,62 °C sur la période post-rupture. Les courbes de tendance ont une pente positive avec les coefficients de détermination sont respectivement ($R^2 = 0,478$ et $R^2 = 0,256$) sur les périodes pré et post rupture. On déduit, une alternance de hausse et de baisse des températures minimales, ce qui traduit une forte variabilité interannuelle sur la période de recherche.

L'analyse comparative des températures minimales pré-rupture et post rupture permet de constater que, les températures minimales post rupture (0,0433 x) ont connu une augmentation par rapport aux températures minimales pré-rupture (0,0346 x). Cette augmentation de températures maximales post rupture est de 0,0087 °C.

Il est observé, au même titre que les températures maximales, une tendance plus marquée à la hausse des températures minimales. Cette hausse est plus remarquable pour certaines années, notamment les années 1974, 1982, 2004 et 2006. Les températures maximales et minimales ont augmenté pour la période post-rupture (1984-2017) par rapport à celles de la période pré-rupture (1960-1983). L'étude sur les périodes pré et post rupture a révélé une variation au niveau de la précipitation et de la température. Les contraintes climatiques dans la commune de Dassa-Zoumé se manifestent par la variabilité du régime pluviométrique, l'augmentation des vagues de chaleur, l'augmentation en fréquence et en intensités des phénomènes extrêmes tels-que les inondations et la sécheresse et la diminution des hauteurs de pluie.

Perceptions des ménages des contraintes climatiques dans la commune de Dassa-Zoumé

Les ménages enquêtés perçoivent différemment les contraintes climatiques. Quatorze pourcent (14 %) d'entre perçoivent les contraintes climatiques à l'augmentation des vagues de chaleur. La figure 11 présente les perceptions des ménages enquêtés.

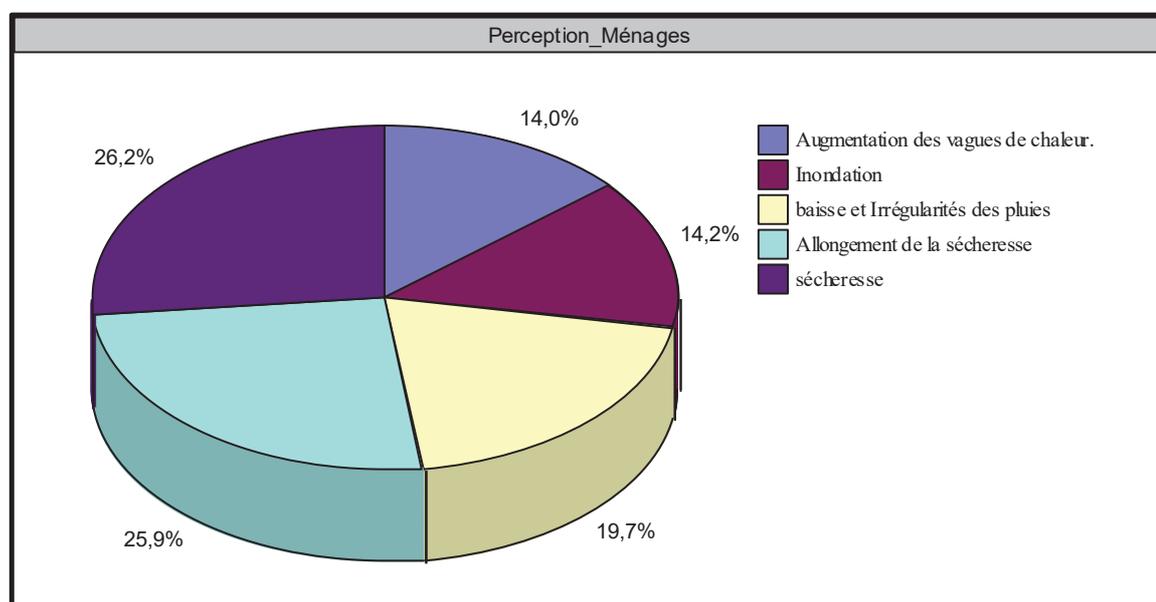


Figure 11 : Perception des ménages enquêtés des contraintes climatiques

Source : Traitement des données pluviométriques, Juin 2019

La figure 10 présente la perception des ménages enquêtés des contraintes climatiques dans la commune de Dassa-Zoumé. Il est à remarquer que, de constater que, 52,1 % des ménages enquêtés pensent que les contraintes climatiques s'expliquent par les manifestations de la sécheresse et son allongement, la baisse et l'irrégularité des pluies (19,7 %), l'augmentation des vagues de chaleur et l'inondation (28,2 %). Ces perceptions varient en fonction de la tranche d'âges et les activités socio-économiques. Les ménages perçoivent les contraintes climatiques en fonction de leur tranche d'âge (tableau V).

Tableau V : Perception des ménages en fonction de la tranche d'âge

Tranche_Age	18_25	26_35	36_45	46_55	56_65	66_+	TOTAL
Perception_Ménages							
Inondation	0,0%	14,6%	27,1%	41,7%	12,5%	4,2%	100%
sécheresse	0,0%	21,1%	35,6%	30,0%	12,2%	1,1%	100%
Allongement de la sécheresse	1,1%	20,0%	41,1%	25,6%	10,0%	2,2%	100%
baisse et Irrégularités des pluies	1,5%	19,4%	35,8%	26,9%	14,9%	1,5%	100%
Augmentation des vagues de chaleur.	2,1%	25,0%	31,3%	25,0%	14,6%	2,1%	100%
TOTAL	0,9%	20,1%	35,3%	29,2%	12,5%	2,0%	100%

Source : Enquête de terrain et traitement des résultats, mai 2019

Le tableau V présente la perception des ménages en fonction de leur tranche d'âge. Il ressort de ce dernier que, à part l'allongement de la sécheresse, l'augmentation des vagues de chaleurs (4,07 %) les ménages dont la tranche d'âge est comprise entre 18-25 n'ont aucune perception des contraintes climatiques. Pour eux, les paramètres climatiques n'ont pas connu une perturbation mais il reste stable. Par contre, les ménages dont la tranche d'âge est comprise entre 36-45 ans perçoivent les manifestations des contraintes climatiques à travers l'allongement de la sécheresse (41,1 %), la baisse et les irrégularités des pluies (35,8 %). Par ailleurs, les ménages qui ont au moins 66 ans, perçoivent les contraintes à travers les inondations (4,2 %), l'allongement de la sécheresse (2,2 %). Le test de chi 2 montre une dépendance non significative ($\chi^2 = 11,63$, ddl = 20, $1-p = 7,17$ %) au seuil $\alpha=0,05$. Le poids de l'âge n'explique pas la perception des ménages des contraintes climatiques dans le milieu de recherche. En dehors des tranches d'âges, les contraintes climatiques sont aussi analysées en fonction des activités socioéconomiques qu'ils pratiquent.

DISCUSSION

Ce résultat rejoint ceux de (E. Amoussou, 2010 ; p.144). En effet, l'auteur a montré que les stations de Sokodé et de Kara-ville ont connu une rupture significative respectivement en 1968 et en 1986. Cette rupture significative au seuil de 95 % est en phase avec celles détectées par des travaux antérieurs entre la fin de la décennie 1960 et le début des décennies 1970 et 1980, dans la région ouest africaine et centrale G. Mahé *et al.*, (2001, p.224) et S. Ardoin-Bardin, 2004 ; p.179) qui rejoignent également les résultats de la présente recherche.

Aussi, au Bénin, ce résultat est en phase avec la rupture est mise en évidence par R. Ogouwalé (2013, p.105), E. W. Vissin (2007, p.122), F. I. Yabi (2008, p.171), H. S. V. Totin (2010, p.108), Odoulami et Zodekon (2017). C'est dans cette même logique que, les résultats des travaux du programme ICCARE de l'IRD (E. Servat *et al.*, 1999 ; p.370) situent la plupart des ruptures entre la fin de la décennie 1960 et le début de la décennie 1970, dans la sous-région de l'Afrique occidentale et centrale, y compris le Sahel. Cette gamme de variation indique que la sécheresse revêt un caractère globalement modéré dans la commune de Dassa-Zoumé.

CONCLUSION

L'analyse des données climatiques officielle sur la période 1960-2017 a permis de constater que les contraintes climatiques se manifestent par une tendance à la baisse des hauteurs avec l'alternance des années humides et sèche. En effet, 3 % des années sont extrêmement humides, 12 % fortement humides et 32 % sont modérément humides. L'ensemble de ces années, sont qualifiées d'années excédentaires, soit 47 % d'années excédentaires. Par contre, 53 % de ces années sont déficitaires.

L'application du test de Pettitt de BUISSHAND et d'ellipse sur la série pluviométrique (1960-2017) a permis de détecter une rupture pluviométrique en 1983. Le régime mensuel pré-rupture (1960-1983) montre une hausse considérable des lames d'eau précipitée notamment au cours des mois sensibles d'avril, juin, juillet qui correspondent aux mois les plus humides donc à la période probable de recharge des réservoirs souterrains pour alimentation en eau de la population. La période post rupture (1984-2017) montre une diminution des pluies en novembre, décembre, janvier, mars, avril. Contrairement à la pluviométrie, les températures ont connu une augmentation au niveau de la période post rupture par rapport à la période pré-rupture.

References

1. AMOUSSOU Ernest 2010. Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvial-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat à l'Université de Bourgogne, 313 p.
2. ARDOIN Sandra Bardin 2004. Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 350 pages.
3. BRUNET-MORET Yves, 1971. Etude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses. *Cahiers ORSTOM série hydrologie*, VIII (4), pp 3-31.
4. HIEZ Gérard, COCHONNEAU Gérard, SECHET Patrick, FERNANDES U.M., 1992. Application de la méthode du vecteur régional à l'analyse de la pluviométrie annuelle du bassin amazonien=Application of the regional vector method to the analysis of annual pluviometry of the amazon basin. *Veille Climatique Satellitaire*, (43), 39-52. ISSN 1144-2026
5. HIEZ Gil, 1977. L'homogénéité des données pluviométriques. *Cah. Orstom, Série Hydrologie*, vol. XIV, no 2 : 129-172.
6. INSAE, 2013. Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin (RGPH-4, 2013), 85 pages.
7. MAHE Gil, 2006. Variabilité pluie-débit en Afrique de l'Ouest et Centrale au 20ème siècle : changements hydro-climatiques, occupation du sol et modélisation hydrologique. *HDR*, Université de Montpellier II, 160 pages.
8. MAHE Gil, L'Hôte Yann, OLIVRY Jean Claude, WOTLING Geoffroy, 2001. Trends and discontinuities in regional rainfall of west and central Africa - 1951-1989. *Hydrological Sciences Journal*, **46**(2), 211–226.
9. MAHE Gil, OLIVRY Jean Claude, 1995. Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse*, **6**(1), 109-117.
10. MAHE Gil, OLIVRY Jean Claude, DESSOUASSI R., ORANGE D., BAMBA F. ET SERVAT Eric, 2000. Relations eaux de surface-eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, Sciences de la Terre et des planètes, **330**, pp. 689-692.
11. MAHE Gil et L'HOTE Yann, 1995. Utilisation de la méthode du vecteur régional pour la description des variables pluviométriques interannuelles en Afrique de l'Ouest et centrale. In : *Régionalisation en hydrologie : application au développement*,

- Huitièmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM (Montpellier, 1992), L. LE BARBÉE et É. SERVAT édit, Éd. ORSTOM, p. 175-192.
12. ODOULAMI Léocadie & ZODEKON Ayéman René (2017) : Stratégies d'approvisionnement en eau face à la variabilité pluviométrique dans la commune de Dassa-Zoumé au Bénin, *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, 2017, n° 14, vol. PP 225-240
 13. OGOUWALE Romaric (2013) : Changements climatiques, dynamique des états de surface et perspectives sur les ressources en eau dans le bassin de l'Okpara a l'exutoire de Kaboua, Thèse pour l'obtention du Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi en Géographie et Gestion de l'Environnement 200 pages.
 14. SCHWARTZ Daniel, 1995. Méthodes statistiques à l'usage des médecins et biologistes. Collection statistique en biologie et en médecine, 4ème édition, Flammarion, Médecine et Sciences, Paris, 314 p.
 15. SERVAT Eric, PATUREL Jean Emmanuel, LUBES-NIEL Helène, KOUAME B., MASSON J. M., TRAVAGLIO M. et MARIEU B., 1999 : « De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne ». *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, Vol. 12, N° 2, pp. 363-387.
 16. TRA BI Zambélé Armand (2013) - *Étude de l'impact des activités anthropiques et de la variabilité climatique sur la végétation et les usages des sols, par utilisation de la télédétection et des statistiques agricoles, sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc)*. Thèse de Doctorat en cotutelle, Université d'Artois et Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, 190 p.
 17. VISSIN Expédit Wilfried, 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, 311 p.
 18. YABI Ibouaïma, 2008. Etude de l'Agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques liées à son développement dans le centre du Bénin. Thèse de doctorat, EDP/FLASH/UAC, 234 p.