

EFFETS DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR L'ACCES A L'EAU POTABLE A PARAKOU (BENIN)

Soulémane AHODJIDE

Frédéric KOMBIENI

Imorou OUOROU BARRE

Jean-Bosco K. VODOUNOU

Université de Parakou, Bénin

Laboratoire des Géosciences de l'Environnement et de Cartographie

Université de Parakou, (LaGECa).

soulemann_22@yahoo.fr

Résumé

La variabilité climatique constitue, de plus en plus, l'un des grands problèmes socioéconomiques et environnementaux de l'époque contemporaine. L'objectif de ce travail est d'analyser les effets de la variabilité climatique sur l'accès à l'eau des populations à Parakou.

L'approche méthodologique adoptée est basée sur la collecte de données climatologiques et hydrométriques de la période de référence de 1971 à 2022, des enquêtes de terrain auprès de 402 ménages puis l'utilisation des méthodes de traitement et d'analyse statistique des résultats. Les résultats obtenus montrent que les températures ont accru durant la période 1971-2022, et ont provoqué l'assèchement précoce des ressources en eau de surface utilisées par les populations. Les apports pluviométriques annuels du bassin versant de Nanon sont en moyenne de 14,31 milliards de m³. De cet important volume, seulement 1,11 milliards de m³ transitent à la station de Kpassa. Le volume annuel disponible pour l'alimentation des aquifères est de 1,22 milliards de m³ en moyenne (soit 8 % des précipitations). La perte réelle en eau du bassin représente 80 % des précipitations. La pluie efficace constitue 20 % des précipitations dont 7 % pour l'écoulement et 8 % pour l'infiltration.

Les données perçues révèlent que les indices d'exposition des risques climatiques varient de 47,17 % à 86,66 %. La variabilité climatique a donc une influence sur la disponibilité et l'accès à l'eau à Parakou. Les autorités doivent mettre en place des politiques de renforcement de la mobilisation des ressources en eau afin d'assurer le développement durable des activités socioéconomique.

Mots clés : accès à l'eau, bassin versant, disponibilité, variabilité climatique, Parakou.

Abstract

Climate variability is increasingly becoming one of the major socio-economic and environmental problems of contemporary times. The aim of this work is to analyse the effects of climate variability on access to water for populations in Parakou.

The methodological approach adopted is based on the collection of climatological and hydrometric data from the reference period from 1971 to 2022, field surveys of 402 households and then the use of methods of processing and statistical analysis of the results .

The results obtained show that temperatures increased during the period 1971-2022, and caused the premature drying up of surface water resources used by populations. The annual rainfall inputs of the Nanon watershed are on average 14.31 billion m³. Of this large volume, only 1.11 billion m³ pass through the station Kpassa. The annual volume available for the supply of aquifers is 1.22 billion m³ on average (i.e. 8% of precipitation). The actual water loss from the basin represents 80% of precipitation. Effective rain constitutes 20% of precipitation, of which 7% is for runoff and 8% for infiltration. The collected data reveal that the climate risk exposure indices vary from 47.17% to 86.66%. Climate variability therefore has an influence on the availability and access to water in Parakou. The authorities must put in place policies to strengthen the mobilization of water resources in order to ensure the sustainable development of socio-economic activities.

Keywords : *access to water, watershed, availability, climate variability, Parakou.*

Introduction

Depuis les années 1950, le climat terrestre a connu des bouleversements marqués essentiellement par le réchauffement dû aux gaz à effet de serre, en étroite relation avec l'activité humaine (GIEC, 2013). Parmi les conséquences de ces changements, on note pour de nombreux pays : i) une augmentation de la température, ii) une diminution des précipitations et de la masse des calottes glaciaires, iii) une élévation du niveau de la mer et iv) une raréfaction des ressources en eau. Les conséquences sur les ressources en eau sont particulièrement fortes et affectent de nombreux secteurs (E. W. Vissin, 2007 ; R. M. N. Fossou *et al.*, 2014).

En Afrique de l'ouest en général et au Bénin en particulier, les sécheresses se sont amplifiées au cours des décennies 1970-1980 et 1980-1990 (M. Boko, 1988 ; F. Afouda, 1990 ; S. E. Nicholson, 1994 ; B. S. Ardoïn, 2004). De même, la rareté ou la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies peut être générateurs de crises climatiques et économiques et très souvent aussi, d'instabilité sociale et politique (M. Boko, 1988).

Dans ce contexte continental, le Bénin a connu une récession pluviométrique aux ampleurs parfois très accusées doublée d'une augmentation significative du nombre d'années sèches (C. Allé *et al.*, 2013). Le déficit hydrique observé ces dernières décennies dans les exploitations agricoles du Bénin central et septentrional, résulterait de la précocité de la fin de la saison des pluies qui se traduit par une incidence négative sur la productivité agricole.

Ainsi, les inégalités d'accès à l'eau potable sont attribuées de nos jours à l'influence de la variabilité climatique sur les ressources en eau. Lesquelles ressources sont utilisées par les populations pour l'alimentation en eau.

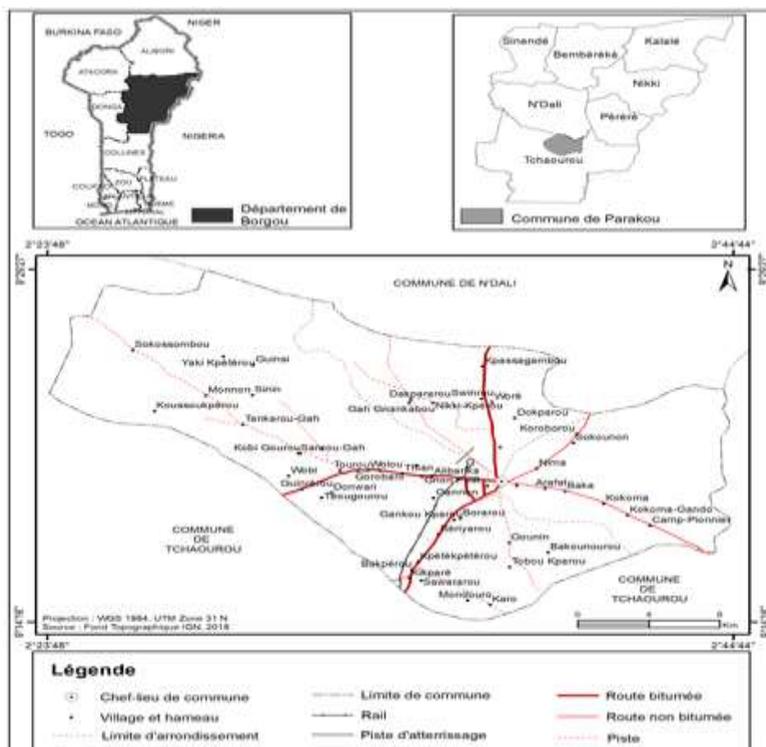
A l'instar d'autres centres urbains, la pression sur les ressources en eau est remarquable dans la Commune de Parakou, principal pôle économique du septentrion. La concentration de la population exige une demande en eau de plus en plus accrue. Cependant, force est de constater que les variabilités climatiques couplées d'une pression démographique imposent des contraintes supplémentaires sur la disponibilité et l'approvisionnement en eau à Parakou. L'enjeu de l'accès à l'eau à Parakou est si grand que depuis l'année 2018, les décideurs s'investissent dans des travaux de renforcement du système d'alimentation en eau de la ville et ses environs. Cette recherche vise à analyser les effets de la variabilité climatique sur l'accès à l'eau des populations, à travers la caractérisation de la dynamique de la pluviométrie et de la température et leur influence sur les ressources en eau.

1. Présentation du milieu de recherche

Située dans le département du Borgou au Bénin, la Commune de Parakou est comprise entre 9°15'39" et 9°22'24" de latitude nord et entre 2°32'44" et 2°38'05" de longitude est. Avec une altitude moyenne de 350 m, elle s'étend sur une superficie de 441 km² et compte une population de 255 478 habitants en 2013 (INStAD/RGPH4, 20213).

Sur le plan administratif, Parakou est subdivisée en trois Arrondissements et 58 quartiers de ville (figure 1).

Figure 1: Situation géographique de la Commune de Parakou



Elle jouit d'un climat de type soudanien (tropical humide) caractérisé par l'alternance d'une saison des pluies de mai à octobre et d'une saison sèche de novembre à avril (G. L. Djohy et A. H. Edja, 2018). Le maximum des précipitations survient entre juillet, août et septembre, avec respectivement 191,60 mm, 213,29 mm et 210,29 mm d'eau. Le réseau hydrographique de la Commune est caractérisé par l'existence de plusieurs cours d'eau. Les cours d'eau de la ville de Parakou sont tributaires de l'alternance des saisons climatiques et dont le principal est la rivière Okpara. Cette dernière est exploitée par la société des eaux du Bénin (SONEB) pour l'approvisionnement en eau des populations.

2. Approche méthodologique

2.1. Données collectées

Trois types de données ont été utilisés dans le cadre de ce travail. Il s'agit des données climatologique et hydrométriques (pluie, la température, les débits etc.) de 1971 à 2022 obtenues à la DG-Eau et à Météo-Bénin. Les données collectées sur le terrain sont relatives à la sensibilité des ressources en eau à la variabilité climatique et ses effets sur l'accès à l'eau des populations dans la Commune de Parakou. L'échantillon des personnes interviewées est déterminé par la méthode du choix raisonné. Au total, 402 ménages ont été enquêtés.

2.2. Méthode de traitement et d'analyse des données

Les enquêtes ayant été réalisées par questionnaires, le dépouillement est fait avec un masque de saisie en *épidata* après le codage et le dénombrement des fiches. Il a consisté en la lecture de toutes les fiches et en la mise au propre des différentes données collectées. Après cette étape ; la base de données a été exportée en SPSS.22 pour la réalisation des tableaux, courbe et graphiques à l'aide du logiciel Excel 2020. Le logiciel Word 2020 a été utilisé pour la saisie et la mise forme des textes. Les données qualitatives issues des questions ouvertes ont été traitées manuellement. Le traitement des paramètres climatiques et hydrologiques (pluviométrie, température et débit) est basé sur l'utilisation de la méthode de Lamb (1982) et des tests statistiques de stationnarité pour l'analyse temporelle des données.

Pour mieux visualiser les périodes de pluviométries déficitaires et d'excédentaires, les indices pluviométriques ou variables centrées réduite les moyennes mobiles centrées et réduites sont calculées à partir de l'équation.

$$I_p = (X_{(i)} - X_m) / \sigma$$

avec I_p = Indice pluviométrique, $(X_{(i)}(\text{mm}))$ = Pluviométrie (ou débit,) annuelle pour une station pendant une année i , $X_m(\text{mm})$ = Moyenne annuelle de la pluviométrie (ou d'écoulement) à la station pendant la période d'étude, σ = écart-type de la pluviométrie t les température de cette période.

Si $I_p < 0$, l'année est sèche ou déficitaire ; si $I_p = 0$, l'année est dit moyenne ou normal et si $I_p > 0$, l'année est humide ou excédentaire.

Pour l'analyse temporelle, certains tests statistiques : test de student, de Pettitt (Pettitt, 1979), la méthode bayésienne de Lee et Heghiniann (Lee et Heghiniann, 1977), de segmentation de Hubert (Hubert *et al.*, 1989) ont été appliqués sur la série climatique de 1971-2022.

2.2.1. Test de Pettitt (1979)

Le test de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. L'absence d'une rupture dans la série (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. Il a été décrit par plusieurs auteurs (A. N. Pettitt, 1979 ; H. Lubes-Niel *et al.*, 1998 ; R.M. N. Fossou, *et al.*, 2014). Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. Cette série étudiée est divisée en deux (2) échantillons respectivement de taille m et n. Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillon dans l'échantillon total. Une étude statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous échantillons à la même population. Ce test repose sur le calcul de la variable $U_{t,N}$ définie par l'équation suivante :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Avec $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$ où $\text{sgn}(X) = 1$ si $X > 0$ et -1 si $X < 0$.

2.2.2. Méthode bayésienne de Lee et Heghiniann (1977)

Le modèle de base de la procédure est la suivante :

$$X_i \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1 \dots \tau \dots \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1 \dots N \end{cases}$$

où les ε_i sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance σ^2 . Les variables τ , μ , δ et σ sont des paramètres inconnus. Les variables τ et δ représentent respectivement la position de la rupture dans le temps et l'amplitude du changement sur la moyenne. Le changement éventuel (la position et l'amplitude) correspond au mode des distributions *a posteriori* de τ et δ . La méthode fournit donc la probabilité que la rupture se produise au moment τ dans une série où on suppose *a priori* qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé.

2.2.3. Segmentation de Hubert (Hubert et al., (1989)

La procédure de segmentation de séries chronologiques a été présentée par P. Hubert et J. P. Carbonel (1987). Elle a été ensuite complétée par P. Hubert et al. (1989). Le principe de cette procédure est de « 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 segmentation est définie de façon suivante : Toute série $x_i, i = 1, \dots, N$, avec $i_1 \geq 1$ et $i_2 \leq N$ ou $(i_1 < i_2)$ constitue un segment de la série initiale des $(x_i), i = 1, \dots, N$; L'hypothèse nulle H_0 est « la série étudiée est stationnaire ». Si la procédure ne produit pas de segmentation d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle n'est pas acceptée.

2.3. Méthode d'analyse des données de terrain

Les données qualitatives issues des questions ouvertes ont été traitées manuellement. Pour analyser la vulnérabilité des ressources en eau aux risques de changements climatiques perçus par les acteurs, la matrice de sensibilité aux risques climatiques est utilisée. C'est une approche méthodologique plus simple qui permet d'établir la sensibilité aux risques climatiques. La mise en œuvre recouvre plusieurs étapes à savoir :

Etape 1 : elle consiste à établir la liste des unités d'exposition dans le secteur considéré qui vont être prises en compte dans l'exercice de l'analyse de la vulnérabilité. Ces secteurs ou unités d'exposition vont former les lignes de la matrice de sensibilité ;

Etape 2 : la deuxième étape consiste à établir un inventaire des risques climatiques les plus significatifs pour les secteurs ou unités d'exposition dans la région considérée.

Etape 3 : la troisième étape est celle de l'évaluation du degré de sensibilité de chaque secteur ou unité d'exposition à chacun des risques climatiques retenus.

L'estimation des ampleurs des risques climatiques sur les différents systèmes ou unités d'exposition aux risques climatiques est faite à partir d'un barème d'évaluation à cinq niveaux : 1 Faible ; 2 Assez faible ; 3 Moyen ; 4 Assez fort ; 5 Fort comme l'illustre le tableau I.

Tableau I : Barème d'évaluation des risques climatiques

Echelle de grandeur du degré de vulnérabilité	Ampleur du risque
1	Faible
2	Assez faible
3	Moyen
4	Assez fort
5	Fort

Source : M. Badolo, 2009

L'application de la matrice produit trois indicateurs : i) l'indice d'exposition, ii) le rang en termes d'exposition des unités d'exposition aux risques climatiques et iii) l'indice d'impact des risques climatiques. La valeur de l'indice d'exposition pour une unité d'exposition est donnée par la somme des colonnes pour chaque ligne de la matrice. La valeur de l'indice d'impact pour un risque donné est la somme des lignes pour chaque risque. Les indices déterminés sont aussi utilisés pour établir une hiérarchisation des risques dans le secteur d'étude par rapport aux unités d'exposition considérées.

3. Résultats

3.1. Analyse de la variabilité pluviométrique et thermométrique de Parakou

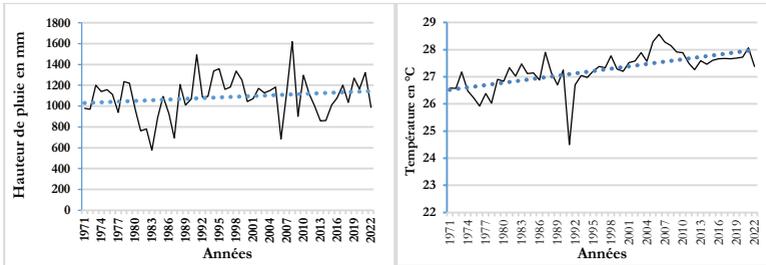
L'analyse des tendances climatiques de la Commune a pris en compte les deux paramètres que sont les précipitations et les températures ; puisqu'elles représentent les paramètres les plus déterminants de la zone du climat soudanien au Bénin. Ainsi, les cumuls pluviométriques et thermométriques annuels de la période 1971-2022 ont été exploités.

3.1.1. Variabilité interannuelle des précipitations, températures et sensibilité des ressources en eau de Parakou

Dans la Commune de Parakou au Nord-Bénin, la pluviométrie et la température sont marquées par des fluctuations interannuelles très remarquables avec une succession de périodes sèches et de périodes

humides pour les précipitations. La figure 2 (a, b) présente respectivement le bilan pluviométrique annuel et thermométrique à Parakou (1971 à 2022).

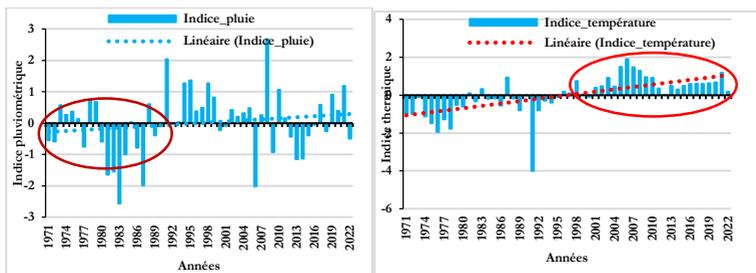
Figure 2 : Variabilité interannuelle des précipitations (a) et des températures (b) à Parakou (1971 à 2022)



Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2024

L’observation de la figure 2b montre que les températures contrairement aux précipitations, ont accru durant la période 1971-2022. Malgré un retour à de meilleures conditions de précipitations à partir des années 1990, les précipitations observées semblent conserver une tendance à la baisse sur la période de 1971 à 2022 (figure 2a). L’évolution interannuelle des températures moyennes est donc marquée par une tendance à la hausse de ces températures dans la Commune de Parakou de 1971 à 2022. Elles sont passées globalement de 33,77 °C en 1971 à 34,42 °C en 2022 soit une augmentation de 1,45 °C pour les températures moyenne à la station de Parakou. Étant liée à la radiation solaire, la variation de la température influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. Cela explique les contraintes climatiques majeures que subissent les écosystèmes dans le milieu d’étude car, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique de même que l’évapotranspiration potentielle (ETP) et de l’humidité relative. Les figure 3a et b présentent respectivement les indices pluviométriques (a) et thermométrique (b) annuels de Parakou (1971 à 2022).

Figure 2: Indices pluviométriques (a) et thermométrique (b) annuels de Parakou (1971 à 2022)



Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2024

L'analyse de la figure 12a révèle qu'à Parakou (1971 à 2022), la péjoration pluviométrique est plus intense en 1971, 1972, 1977 et devient significative et très longue au début des années 1980 (figure 3a). La période de 1971-1986 a été globalement sèche. Sur l'ensemble du territoire, la période 1987-2002 a été relativement humide et sèche de 2003 à 2006 tandis qu'une longue période humide s'observe nettement à partir de 2010 jusqu'en 2022, mais avec des déficits pluviométriques non négligeables en 2017, 2018 et 2022.

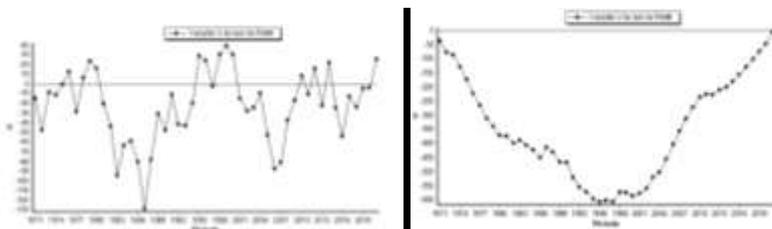
Au niveau des températures, plusieurs tendances sont observées (figure 3b). L'observation de la figure 3b montre que les températures ont accru surtout à partir du début des années 1990. En revanche, la période 1960-1989 est globalement déficitaire mais parsemée par des années extrêmement chaudes telles que 1971, 1972, 1977, 1980 à 1987. L'élévation thermique provoque l'assèchement précoce des ressources en eau de surface utilisées par les éleveurs et les maraîchers. Ainsi, les tendances à la hausse des températures entraînent la diminution progressive des ressources en eau utilisées par les acteurs.

3.1.2. Détection des ruptures de stationnarité de pluie et températures

L'analyse statistique par le test de corrélation sur le rang de la chronique des précipitations met en évidence une tendance à la baisse de la pluviométrie au seuil de confiance de 95 %. La figure 4 présente les

ruptures de stationnarité par test de Pettitt dans les séries pluviométriques et de températures de Parakou de 1971 à 2022.

Figure 3: Rupture de stationnarité par test de Pettitt dans les séries pluviométriques et de températures



Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2024

Le test de Pettitt a permis de détecter une rupture de stationnarité dans la série pluviométrique en 1986 et en 1991 pour la série thermique au seuil de confiance de 90%. (Figure 4). Il apparaît donc deux grandes sous périodes de récession de hauteurs pluviométriques de 1971 à 1986 et la période de pluies relativement humide de 1987 à 2022. La méthode bayésienne de Lee et Heghinian a permis d’observer une modification dans l’évolution de la pluviométrie à partir de 1987. La densité de probabilité “*a posteriori*” de la position d’un changement dans l’évolution de la pluviométrie annuelle de Parakou est de 0,7024 en 1971. Les segmentations ont été obtenues au niveau de signification 0,05 du test de Scheffé n’a détecté aucune rupture comme l’indique le tableau II.

Tableau II : Niveau de signification du test de Scheffé 1 %

Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1971	2022	1147,896	203,319

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

Par contre, en ce qui concerne la série thermique, la segmentation de Hubert (1989), au niveau de signification du test de Scheffé 1 %, présente quatre sous séries (1971-1978, 1979-1990, 1991-2001 et 2002-2022).

Tableau I : Niveau de signification du test de Scheffé 1 %

Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1971	1978	26,425	0,410
1979	1990	27,133	0,331
1991	1991	24,500	0,000
1992	2001	27,250	0,295
2002	2022	27,800	0,333

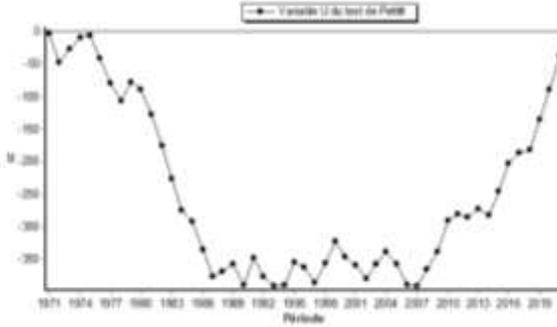
Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

Les totaux thermiques moyens respectifs de ces sous-périodes sont de 26,425 ; 27,133 ; 27,250 et 27,800 mm avec des écart-types respectifs de 0,410, 0,331, 0,295 et 0,333 pour les quatre sous-périodes. Étant donné que la commune de Parakou est située dans une zone soudanienne, la variabilité pluviométrique et thermique constatée pourrait avoir des conséquences importantes sur la disponibilité des ressources en eau.

3.2. Influence de la variabilité climatique sur la disponibilité et l'accès à l'eau à Parakou

Les résultats de l'application des tests non paramétriques sur les séries hydrométriques montrent que l'ensemble les débits annuels analysés présente des ruptures. Ces ruptures très significatives ont été identifiées, au seuil de confiance variant entre 95 % et 99 % par le test de Pettitt. Les dates de rupture détectées sont essentiellement en 1970 (tableau III et figure 5).

Figure 4: Ruptures identifiées par le test de Pettitt au niveau du sous bassin versant de Nanon à Kpassa



Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

Tableau III : Niveau de signification du test de Scheffé 1%

Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1971	1987	91,753	66,947
1988	2018	165,397	64,232
2019	2022	301,125	.7,196

Source : Traitement de données DG-eau, 2024

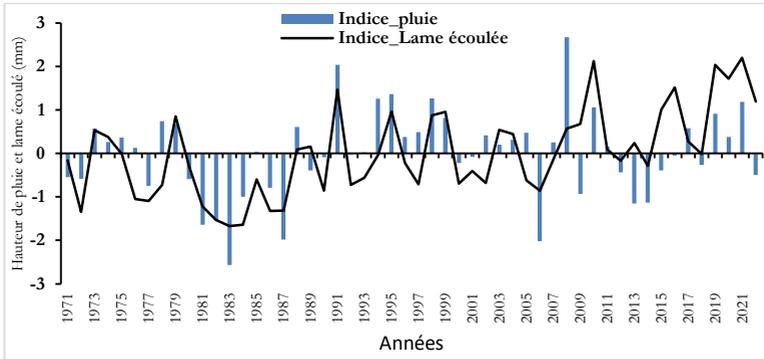
Ces résultats confirment ceux obtenus à partir des tests de rupture (test de Pettitt et procédure de segmentation). En effet, depuis le début des années 1970, les modules des différents cours d'eau sont inférieurs à la moyenne générale.

3.3. Impact de la variabilité pluviométrique sur les ressources en eau : sensibilité du régime hydrologique aux variations annuelles des pluies

L'analyse des indices hydrométriques annuels des cours d'eau met en évidence une forte diminution de l'hydraulicité du sous bassin versant de

Nanon à Kpassa, depuis les années 1971 (figure 6). L'effondrement du débit des cours d'eau a atteint son paroxysme au cours de la sécheresse de 1982-1983 (figure 6).

Figure 5 : Sensibilité du régime hydrologique de Nanon à Kpassa aux variations annuelles de la pluie de 1971-2022

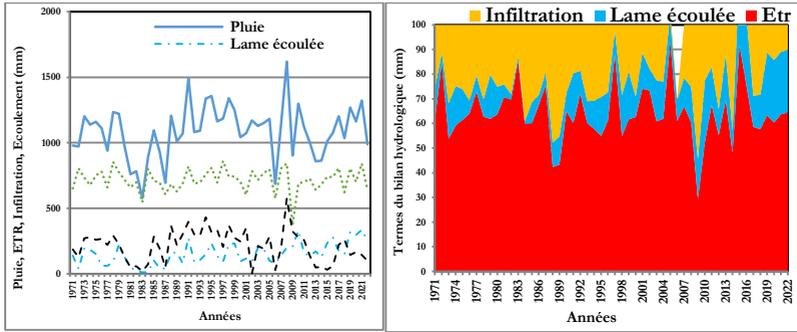


Source : Traitement de données Météo-Bénin et DG-eau, 2024

L'analyse de la figure montre que les indices de pluies et de débits se superposent dans l'ensemble, quel que soit l'état d'humidité. Ainsi, aux années de déficits pluviométriques correspondent globalement des années déficitaires en écoulement. Ceci permet de distinguer une période sèche (1970-1989) et deux périodes humides (1971-1987 et 1988-2022). Avant les années de grands débits (1988-2022), les deux précédentes décennies ont été caractérisés par un affaiblissement généralisé des écoulements. Le bassin versant de Nanon situé en zone soudanienne, a donc subi la variabilité climatique et a été affecté à un certain degré par une variation de son régime d'écoulement au cours de ces dernières décennies.

La sensibilité du régime hydrologique de Nanon aux variations mensuelles de la pluie sur la même période sera encore intéressante.

Figure 7 : Termes du bilan hydrologique de Nanon à Kpassa



Source : Traitement de données Météo-Bénin et DG-eau, 2024

L'analyse de cette figure permet de constater que, sur l'ensemble du bassin versant, la pluie reste le facteur le plus important, conditionnant tous les autres paramètres du bilan hydrologique. De 1971 à 2022, l'évolution interannuelle des termes du bilan montre que les précipitations et les ETR ont suivi une évolution similaire dans le bassin versant. La même tendance semble être aussi maintenue pour l'écoulement et la recharge (infiltrations). Le bilan hydrologique moyen annuel établi sur la période 1971-2022 (tableau IV) montre que les apports pluviométriques annuels du bassin versant de Nanon sont en moyenne de 14,31 milliards de m³.

Tableau II : Bilan hydrologique moyen annuel du bassin de Nanon sur la période 1971-2022

Paramètres du bilan	Lame d'eau en mm.an ⁻¹	Volume × 10 ⁹ m ³ .an ⁻¹
Pluie (P)	1087,12	14,31
Evapotranspiration réelle (ETR)	715,98	10,80
Lame d'eau ruisselée (Q)	151,76	1,11
Infiltration totale (I)	213,34	1,22

Source : Traitement de données Météo-Bénin et DG-eau, 2024

De cet important volume d'apport pluviométrique, seulement 1,11 milliards de m³ transitent à la station de Kpassa soit 7 % de cet apport. Le volume annuel disponible pour l'alimentation des aquifères est de 1,22 milliards de m³ en moyenne (soit 8 % des précipitations). La perte réelle en eau du bassin représente 80 % des précipitations. La pluie efficace constitue 20 % des précipitations dont 7 % pour l'écoulement et 8 % pour l'infiltration. La lame d'eau écoulée dans le bassin, moyennée pour les deux sous-périodes (1971-1986, 1987-2022) et comparée aux hauteurs précipitées, à l'évaporation et à la recharge (infiltration) est donnée dans le tableau V.

Tableau V: *Déficits des différents termes du bilan hydrologique*

Termes du bilan	Sous-périodes	Nanon
Pluie (mm)	1971-1986 (P1)	998
	1987-2022 (P2)	1127
	Ecart P1-P2	-129
	Déficit P1-P2 (%)	13
Écoulement (mm)	1971-1986 (P1)	95
	1987-2022 (P2)	177
	Ecart P1-P2	-82
	Déficit P1-P2 (%)	87
ETR (mm)	1971-1986 (P1)	719
	1987-2022 (P2)	714
	Ecart P1-P2	5
	Déficit P1-P2 (%)	-1
Recharge (mm)	1971-1986 (P1)	183
	1987-2022 (P2)	227
	Ecart P1-P2	-44
	Déficit P1-P2 (%)	24

Source : Traitement de données Météo-Bénin et DG-eau, 2024

L'analyse de ce tableau permet de constater que l'excédent pluviométrique observé dans le bassin entre les sous périodes 1971-1986 et 1987-2022 est de 13 %. La sous période 1971-1986 a été déficitaire par rapport à la moyenne de celle de 1988-2022 sur l'ensemble du bassin. Malgré les 13 % d'excédent pluviométrique, le déficit d'écoulement, d'évaporation et celui de la recharge sont respectivement de l'ordre de 87 %, 1 % et 24 %. Ainsi, le déficit pluviométrique observé au cours de la décennie 1980 a été considérablement amplifiés dans les écoulements sur le bassin versant de Nanon à Kpassa.

3.4. Perceptions locales de l'influence de la variabilité climatique sur la disponibilité et l'accès à l'eau à Parakou

Dans la commune de Parakou, les activités socioéconomiques étant en partie tributaires des aléas climatiques, les populations portent une attention particulière à la variabilité climatique de même qu'à ses manifestations et conséquences sur la disponibilité et l'accès à l'eau. En effet, diverses sources d'eau sont utilisées par les acteurs dans leurs activités agricoles ou maraîchères, pastorales, les usages domestiques et autres. Il s'agit des sources d'eau superficielles (mares, marigots, retenues, bas-fonds, rivières, barrages) et des sources d'eau souterraines (puits, forages). Mais ces différentes sources d'eau sont influencées par les risques climatiques notamment la sécheresse, la chaleur excessive, les pluies tardives et les inondations comme le montre le tableau VI.

Tableau III: Matrice de sensibilité des ressources en eau aux risques climatiques dans la Commune de Parakou

Modes d'existence		Risques climatiques						Indice d'exposition (%)	Rang
		Inondations	Sécheresses	Vents violents	Pluies tardives	Chaleur excessive	Fin précoce des pluies		
Eau surface	Rivière, Nanon marigots	4	4	3	2	5	3	86,66	1
	Mares, retenues, barrages	3	4	2	4	4	3	76,66	2
Eau souterraine	Puits traditionnels et modernes	4	5	2	5	5	5	66,66	3
	Forages (PEA, AEV-BF, FPM, puits)	4	5	5	5	4	4	47,17	4
Indice d'impact (%)		72 %	88 %	48 %	64 %	80 %	56 %		

Source : enquêtes de terrain et traitement des données, juin 2024

L'analyse du tableau VI révèle que les indices d'exposition des risques climatiques varient de 47,17 % à 86,66 %. Les ressources en eau de surface Eau surface (rivière Nanon, marigots, Mares, retenues et barrages) sont les plus affectées par les risques climatiques, que cela soit dans le domaine d'usages domestiques, agricoles et pastoral ou d'autres usages. En effet, à Parakou la rivière *Nanon* et les marigots sont exposés aux risques climatiques à 75%, tandis que les mares, retenues d'eau et

barrages le sont à 76,66 %. En ce qui concerne les ressources en eau souterraine, les puits traditionnels et modernes sont exposés à 66,66 % et les forages (PEA, AEV-BF, FPM, puits) à 47,17 % aux risques climatiques dans la commune. Les risques climatiques ont des incidences qui menacent la disponibilité et l'accès à l'eau à Parakou.

4. Discussions

Les résultats obtenus montrent que les températures, contrairement aux précipitations, ont accru durant la période 1960-2020 à Parakou. Le test de Pettitt a permis de détecter une rupture de stationnarité dans la série pluviométrique en 1986 et 1991 pour la série thermique au seuil de confiance de 90%. L'élévation thermique provoque l'assèchement précoce des ressources en eau de surface utilisées par les acteurs. Ces résultats confirment la rupture de stationnarité des années 1970, 1971, 1972 et 1987 soulignée par de nombreux auteurs au Bénin (M. Boko, 1988, p. 83 ; Pana-Bénin, 2014, p. 11) et dans le bassin versant béninois du fleuve Niger (W. E. Vissin, 2007, p. 16 ; S. S. Tassigui, 2018, p. 61 ; W. E. Vissin *et al.*, 2016, p. 63). Ces résultats corroborent également ceux obtenus par M. Boko *et al.* (2012, p. 53), qui ont observé une perturbation du régime pluviométrique et une tendance à la hausse de la température dans le Nord-Bénin.

Sur la période 1971-2022, les apports pluviométriques annuels du bassin versant de Nanon sont en moyenne de 14,31 milliards de m³. De cet important volume d'apport pluviométrique, seulement 1,11 milliards de m³ transitent à la station de *Kpassa*. Le volume annuel disponible pour l'alimentation des aquifères est de 1,22 milliards de m³ en moyenne (soit 8 % des précipitations). La perte réelle en eau du bassin représente 80 % des précipitations. La pluie efficace constitue 20 % des précipitations dont 7 % pour l'écoulement et 8 % pour l'infiltration. Des résultats similaires ont été obtenus par S. S. Tassigui (2018, p. 6) dans le bassin versant de la Mékrou qui montre la tendance persiste malgré un retour à de meilleures conditions de précipitations à partir des années 1990. Par ailleurs, les critères de Nash (supérieurs à 50 % pour la plupart) appliqués aux écoulements moyens semblent satisfaisants. Le biais sur le plus fort pic de débit qui permet d'apprécier la reconstitution du plus fort débit observé par les simulations est de l'ordre de 15 %.

Les données perçues révèlent que les indices d'exposition des risques climatiques (inondations, sécheresses, vents violents, pluies tardives, chaleur excessive et fin précoce des pluies) varient de 47,17 % à 86,66 %. La rivière *Nanon* et les marigots sont exposés aux risques climatiques à 75%, tandis que les mares, retenues d'eau et barrages le sont à 76,66 %. En ce qui concerne les ressources en eau souterraine, les puits traditionnels et modernes sont exposés à 66,66 % et les forages (PEA, AEV-BF, FPM, puits) à 47,17 %. La variabilité climatique a donc des incidences qui menacent la disponibilité et l'accès à l'eau à Parakou. Ces résultats corroborent également ceux obtenus par G. L. Djohy et A. H. Edja (2018, p. 83) qui révèlent que l'instabilité climatique induit la faible disponibilité des ressources en eau dont dépendent les éleveurs et les maraîchers, rendant ainsi leurs activités très sensibles aux conditions climatiques. Les acteurs s'adaptent à la situation en développant de nouvelles stratégies de captage et de gestion des ressources en eau, notamment la construction des puits, des forages et l'aménagement des bas-fonds.

Face cette situation, les autorités étatiques et communales doivent mettre en place des politiques de renforcement de la mobilisation des ressources en eau de surface et souterraine afin d'assurer le développement durable des activités socioéconomique à Parakou.

Conclusion

L'étude des effets de la variabilité climatique sur l'accès à l'eau potable à Parakou revêt une importance cruciale tant pour la compréhension des dynamiques environnementales que pour le bien-être des populations locales. L'analyse statistique par le test de corrélation sur le rang de la série pluviométrique met en évidence une tendance à la baisse de la pluviométrie au seuil de confiance de 95 % avec une rupture observée en 1986. Cette baisse de la pluviométrie a entraîné le déficit d'écoulement, d'évaporation et celui de la recharge qui sont respectivement de l'ordre de 87 %, 1 % et 24 %. La perception des populations locales montre que les ressources en eau de la Commune de Parakou ont subi la variabilité climatique. Les eaux de surface, notamment la rivière *Nanon*, sont plus exposées aux risques climatiques que les ressources en eau souterraine. En révélant comment les fluctuations des régimes de précipitations et des températures affectent les ressources en eau, cette recherche permet

de mieux appréhender les défis auxquels la Commune est confrontée en matière de gestion de l'eau. Face à ces défis, il est crucial que les autorités étatiques et communales adoptent une approche intégrée et durable de la gestion des ressources en eau. Cela pourrait inclure la mise en place de systèmes de collecte des eaux de pluie, l'amélioration des infrastructures de distribution et la sensibilisation des populations sur les pratiques de conservation de l'eau. Des politiques publiques adaptées, soutenues par des recherches locales et une coopération intersectorielle, sont essentielles pour renforcer la résilience de la Commune de Parakou face à la variabilité climatique. En définitive, cette recherche s'inscrit dans un contexte plus large de lutte contre les impacts du changement climatique en Afrique de l'Ouest, en offrant des enseignements qui pourraient être appliqués à d'autres régions vulnérables.

Références bibliographiques

Afouda Fulgence (1990), *L'eau et les cultures dans le Bénin central et méridional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leur relation avec le milieu rural de la savane africaine*, Thèse de Doctorat nouveau régime, Paris IV-Sorbone, 428 p.

Allé Ulrich C.S. Y. Vissoh Pierre V., Guibert Hervé, Agbossou Euloge K. et Afouda Abel A. (2013), « Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin », in *XXV^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, pp. 57-62.

Ardoin-Bardin Sandra (2004), *Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*. Thèse de l'Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, France, 437 p.

Badolo Mathieu (2009), « Cahier des changements climatiques », *Bulletin mensuel d'information sur les changements climatiques de l'Institut d'Applications et de Vulgarisation en science*, 5.

Bois Pierre Henri (2000), *Hydrologie Générale*, Institut Nationale Polytechnique de Grenoble, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble, 180 p.

Boko Michel, Kosmowski Frédéric & Vissin W. Expédit (2012), *Les enjeux du changement climatique au Bénin : Programme pour le Dialogue Politique en Afrique de l'Ouest*. Konrad Adenauer Stiftung, Cotonou, Bénin, 65 p.

Boko Michel (1988), *Climats et communautés rurales du Bénin. Rythmes climatiques et rythmes de développement*, Thèse d'Etat, Paris IV, 2 volumes, 608 p.

Djohy Gildas Louis. et Edja Ange Honorat (2018), « Effet de la variabilité climatique sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation des éleveurs et maraîchers au Nord-Bénin », *Annales de l'Université de Parakou Série "Sciences Naturelles et Agronomie"*, 8 (2), pp.83-91.

Fossou Rosine Marie N'Guessan, Soro N. Nagnin, Traoré Vieux Boukhaly, Lasm Théophile, Sambou Soussou, Soro Tanina, Orou Rorigue Kotchi, Cissé Mohamed Talla et Kane Alioune. (2014), « Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest », *Afrique Science*, 10 (4), pp. 118-134.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, (2013), *Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs*, GIEC, Suisse, 34 p.

Hubert Pierre, Carbonnel Jean Pierre et Chaouche Ali (1989), « Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest », *J. Hydrology*, 110, pp. 349-367.

Lamb Peter J. (1982), « Persistence of Sub-Saharan drought », *Nature*, 299, pp. 46-47.

Lee Austin F. S. et Heghinian Sylva M. (1977), « A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables: A Bayesian approach », *Technometrics*, 19 (4), pp. 503-506.

Nicholson Sharon E (1994), « Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions over the continent », *The Holocene*, 4 (2), pp. 121-131.

Organisation Mondiale de la Santé (2016), *Directives de qualité pour l'eau de boisson*, Recommandations, 3^{ème} éd. (1), 11 p [en ligne] : https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/directives2005_prelim.pdf (consulté le 11/12/23)

PANA-Bénin (2014), *Choix des technologies agricoles pour l'adaptation aux changements climatiques dans les communes d'intervention du PANAI*, Cotonou, 94 p

Paturel Jean-Emmanuel, Servat, Eric, Delattre Marie-Odile, Lubes-Niel Hélène (1998), « Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un

contexte de variabilité climatique ». *Hydrological Sciences-Journal*, 43(6), pp. 937-946.

Pettitt Anthony N. (1979), « A non-parametric approach to the change –point problem », *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28 (2), pp. 126-135.

Tassigui S. Sabi (2020), *Stratégies d'adaptation développées par les agriculteurs et éleveurs de bovins dans les sous bassins versants de la Mékrou et de l'Alibori dans le contexte de la variabilité hydro-climatique au Bénin*, Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 256 p.

Tassigui S. Sabi (2018), *Caractérisation de la variabilité hydropluviométrique dans le bassin versant de la Mékrou à Kompongou à l'aide du ModHyPMA*, Mémoire de DEA/FASHS/EDP/UAC, 96 p.

Vissin W. Expédit, Hèdiblé Sidonie Clarisse, Amoussou Ernedt, Totin S. Henri, Odoulami Léocadie, Eténé Cyr, Boko Michel et Blivi Adoté Blim (2016), « Variabilité climatique et hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou », *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), Série B*, 18(2), pp. 69-81

Vissin W. Expédit (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, Spécialité : Hydroclimatologie, Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, CNRS-UMR 5210, 310 p.