

Analyse de la variabilité climatique et implications pour un urbanisme durable à Bohicon (Bénin)

N'gnonnissè Mèdèhouéno TOSSOU ^{1*},
Tété Yvonne CAKPO ¹,
Jean LAOUROU ²

Résumé

Les changements climatiques constituent un défi mondial majeur, affectant précipitations, températures et systèmes socio-économiques. À Bohicon, ces variations influencent fortement l'urbanisation, l'agriculture et la gestion des ressources en eau. Cette étude analyse la dynamique climatique et territoriale de la commune afin de proposer des stratégies favorisant la résilience et un aménagement durable. Les données climatiques (1964–2023) ont été examinées à l'aide d'indices d'anomalies pluviométriques et thermiques, des tests de Mann–Kendall et de la pente de Sen pour identifier variabilité et tendances. Les périodes de pluies et leurs évolutions ont été déterminées, tandis que les cartes d'occupation du sol et les données démographiques ont permis d'évaluer la dynamique spatiale. La relation climat–occupation du sol a été quantifiée par le test de corrélation de Spearman (ρ), précisant l'influence des températures et des précipitations sur l'urbanisation. Les résultats montrent une hausse des températures minimales (+1 °C) et maximales (+3,6 °C), une baisse moyenne des précipitations de 25 mm et une augmentation des années déficitaires de 10 % à 43 %. Le raccourcissement de la saison des pluies, conjugué à une urbanisation rapide, accroît la vulnérabilité du territoire, soulignant l'urgence d'une planification urbaine durable et d'une gestion intégrée de l'eau pour renforcer la résilience de Bohicon.

Mots-clés : changement climatique, urbanisation, résilience, Bohicon

Climate variability and its implications for sustainable urban planning in Bohicon (Benin)

Abstract

Climate change remains one of the most pressing global challenges, altering temperature and rainfall regimes and influencing socio-economic systems. In Bohicon, these shifts have pronounced effects on urban expansion, agricultural productivity, and water resource management. This study analyzes the climate and territorial dynamics of the municipality in order to propose strategies that promote

¹ Université Mercure International, Guinée

² Université d'Abomey-Calavi, Bénin

***Auteur Correspondant** : N'gnonnissè Mèdèhouéno TOSSOU, Email : mentos@yahoo.fr, ORCID iD : 0009-0006-1886-3383

DOI : <https://doi.org/10.64707/revstlsh.v4i1i2.2014>

resilience and sustainable development. Climate data (1964–2023) were examined using rainfall and temperature anomaly indices, Mann–Kendall tests, and Sen's slope to identify variability and trends. Rainfall periods and their evolution were determined, while land use maps and demographic data were used to assess spatial dynamics. The relationship between climate and land use was quantified using Spearman's correlation test (ρ), specifying the influence of temperatures and precipitation on urbanization. The results show an increase in minimum (+1°C) and maximum (+3.6°C) temperatures, an average decrease in precipitation of 25 mm, and an increase in deficit years from 10% to 43%. The shortening of the rainy season, combined with rapid urbanization, increases the vulnerability of the territory, highlighting the urgency of sustainable urban planning and integrated water management to strengthen Bohicon's resilience.

Keywords: climate change, urbanization, resilience, Bohicon

Introduction

Les changements climatiques ainsi que ses impacts sont désormais reconnus comme « l'un des défis mondiaux, affectant les populations, l'environnement et les économies » (GIEC, 2007, p. 1). À l'échelle planétaire, les changements climatiques se traduisent par « une élévation des températures et une redistribution des précipitations, entraînant des conséquences directes sur les systèmes naturels et humains. Selon F. Qiu et P. Gauthier (2018, p. 3), « cette crise est principalement attribuée aux activités humaines, notamment la combustion d'énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre (GES) telles que le CO₂ ». En effet, la croissance urbaine constitue un facteur majeur d'amplification locale du changement climatique. « Les activités humaines et les transformations morphologiques des villes modifient les milieux naturels, accentuent l'imperméabilisation des sols et créent des vulnérabilités sociales et environnementales » (S. Sahnoune, 2021, p. 5).

Selon la FAO (2008, p. 9), « l'Afrique au sud du Sahara est l'une des régions les plus exposées aux changements climatiques ». Ainsi, « depuis les années 1970, on observe des transformations marquées du régime des précipitations, avec des épisodes de pluies intenses concentrés sur de courtes périodes, entrecoupés de sécheresses prolongées » (S. S. Tassigui, 2020, p. 9).

En Afrique de l'Ouest, les recherches menées par B. Anderson et *al* (2023, p. 13) révèlent que « les grandes agglomérations, plus compactes, tendent vers des formes circulaires et consomment davantage d'énergie, tandis que les villes moyennes connaissent une urbanisation rapide mais souvent non planifiée ». Ces fluctuations impactent directement les ressources naturelles, les infrastructures

urbaines et la planification territoriale. « Globalement, les conséquences majeures des changements climatiques pour l’Afrique de l’Ouest sont l’érosion côtière, les inondations, la sécheresse, l’accentuation de l’inaccessibilité à l’eau saine, la baisse de la production agricole » (MEHU, 2011, p. 3).

Au Bénin, la variabilité climatique est particulièrement marquée. En 2023, la répartition des pluies a été inégale selon les régions, avec « une fin précoce de la grande saison des pluies au Sud et un démarrage anticipé de la petite saison pluvieuse, rendant la petite saison sèche presque inexistante » (Météo Bénin, 2023, p. 3). Ces mutations, combinées à la pression démographique, exigent une urbanisation durable intégrant tant la gestion des eaux pluviales que la réduction des émissions puis la résilience des habitats.

La commune de Bohicon illustre bien cette problématique. Son urbanisation rapide, marquée par la prolifération d’habitats spontanés et l’expansion périphérique, modifie la consommation d’espace et accroît la vulnérabilité climatique. « Le taux d’urbanisation est passé de 49 % à 68 % entre 1986 et 2013, avant de redescendre à 58 % en 2017, en raison du déplacement des populations vers les périphéries » (N. M. Tossou, 2019, p. 108). Ces dynamiques accentuent la pression sur les infrastructures urbaines, augmentent les risques d’inondation et compliquent la gestion des services essentiels.

Dans ce cadre, l’analyse de la variabilité climatique à Bohicon ne vise pas uniquement une compréhension environnementale, mais constitue un levier pour définir des orientations d’urbanisme durable. L’étude cherche à relier l’évolution des paramètres climatiques aux enjeux de planification urbaine, de gestion des eaux, d’aménagement du territoire et de résilience socio-environnementale.

1. Milieu de recherche, méthodes et matériel

Il est nécessaire dans cette rubrique de décrire le milieu de recherche ainsi que la méthodologie adoptée.

1.1 Milieu de recherche

La commune de Bohicon est située sur le plateau d’Abomey, entre 7°06' et 7°17' de latitude nord et entre 2°01' et 2°14' de longitude est. Elle couvre une superficie de 167 km², soit environ 0,12 % du territoire national (Figure 1).

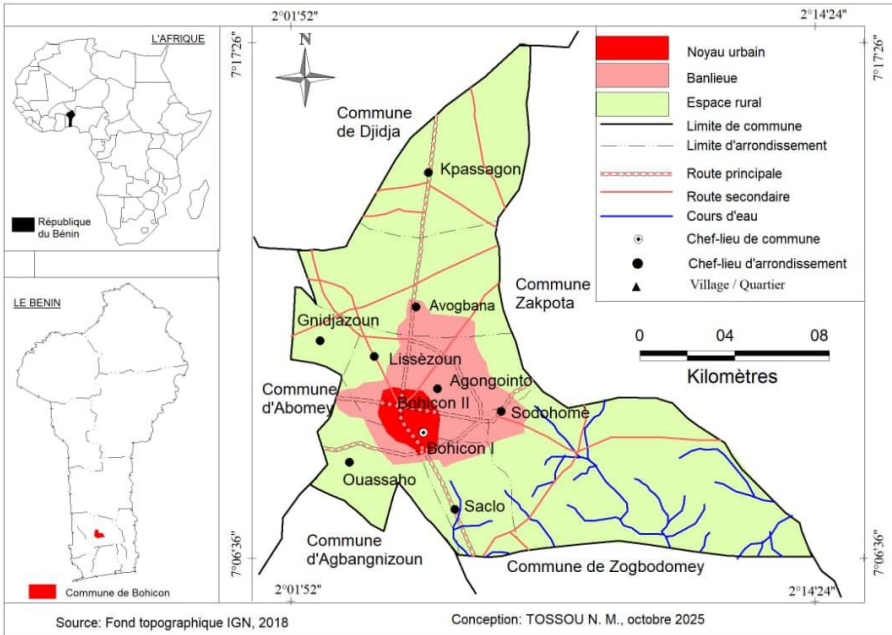


Figure 1 : Localisation et découpage administratif de la commune de Bohicon La commune est limitrophe de Djidja au nord, de Zogbodomey au sud, de Za-Kpota à l’est, et d’Agbangnizoun et Abomey à l’ouest. Sur le plan administratif, elle se compose de dix arrondissements à savoir Passagon, Bohicon I, Bohicon II, Gnidjazoun, Avogbana, Sodohomè, Saclo, Ouassaho, Agongointo et Lissèzoun qui regroupent 50 quartiers et villages.

Selon le RGPH 4 (2013), Bohicon compte 171 781 habitants, dont 71,9 % résident en milieu urbain. Cette forte urbanisation exerce une pression croissante sur le foncier, les infrastructures et les services publics, rendant cruciale la prise en compte des données climatiques dans la planification urbaine et la gestion durable des espaces. Paradoxalement, la structure territoriale de la commune reste majoritairement rurale (66,3 %), avec une concentration des zones urbaines dans les arrondissements de Bohicon I et II. Tandis que Sodohomè et Passagon demeurent principalement ruraux, Ouassaho, Agongointo et Gnidjazoun connaissent une dynamique d’urbanisation accélérée (N. M. Tossou, 2019, pp. 98-99).

1.2 Méthodes et matériel

Les données climatiques (température, pluie) ont été collectées à la direction de Météo Bénin sur la période de 1964 à 2023. L’analyse de la variabilité climatique s’appuie sur le calcul d’indices d’anomalie pluviométrique, qui servent à mesurer les écarts par rapport aux

moyennes établies sur deux périodes de référence (1964-1993 et 1994-2023). Ces indices servent à identifier les années excédentaires, caractérisées par des précipitations supérieures à la normale, et les années déficitaires, marquées par un déficit pluviométrique. Concrètement, une année est considérée comme excédentaire lorsque la valeur centrée réduite λ est supérieure à +1, et déficitaire lorsqu'elle est inférieure à -1, selon la formule suivante :

$$\lambda = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

où X est la valeur de la précipitation annuelle, \bar{x} la moyenne de la série pluviométrique considérée (1964-1993 et 1994-2023) et σ est l'écart type de X .

Cette approche permet de relier les anomalies pluviométriques aux événements extrêmes (inondations, déficits hydriques) ayant des répercussions sur l'agriculture mais aussi sur la gestion urbaine (drainage des eaux, aménagement des zones inondables, sécurité des habitats).

Parallèlement, l'étude a déterminé les dates de début, de fin et de durée des saisons pluvieuses à partir des données mensuelles de 1964 à 2023, réparties en deux sous-périodes trentenaires. Les seuils retenus (68 mm pour 1964-1993 et 92 mm pour 1994-2023, soit 1/12 de la moyenne annuelle) permettent d'identifier la précocité, le retard ou l'allongement des saisons pluvieuses (M. Boko, 1988).

En complément du calcul des indices d'anomalies climatiques annuelles, des tests statistiques de tendance ont été appliqués afin de caractériser la variabilité climatique et d'identifier d'éventuels changements de régime. Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Python (bibliothèques pandas, numpy et matplotlib). En effet, la bibliothèque pandas a permis l'importation, la structuration et l'agrégation des données climatiques, notamment le calcul des moyennes et cumuls annuels nécessaires à l'estimation des indices d'anomalies. Les calculs numériques et statistiques ont été effectués à l'aide de la bibliothèque numpy, tandis que la bibliothèque matplotlib a été mobilisée pour la représentation graphique des anomalies annuelles et l'analyse visuelle de la variabilité interannuelle.

Le test non paramétrique de Mann-Kendall a été utilisé pour détecter des tendances monotones.

La statistique S est définie par :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

et la statistique normalisée Z par :

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases}$$

où une valeur positive (négative) de Z indique une tendance croissante (décroissante), significative à $p = 0,05$.

Une valeur positive (négative) de Z indique une tendance croissante (décroissante) des anomalies climatiques au cours de la période étudiée. Les anomalies annuelles ont été obtenues comme l'écart à la moyenne de la période de référence (1964 –2023), et les graphiques ont illustré leur variabilité interannuelle.

L'intensité des tendances a été estimée par la pente de Sen, calculée comme la médiane des pentes entre toutes les paires de points :

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, j > k$$

avec x_j et x_k les valeurs de la série aux années j et k . La médiane de toutes les pentes Q_i représente l'évolution annuelle moyenne.

Les données planimétriques obtenus à l'institut géographique national et des images satellitaires Landsat ETM de 2005 et Sentinelle A2 de 2025 ont permis de réaliser les cartes d'occupation du sol de la commune de Bohicon et de déterminer sa dynamique spatiale. Pour analyser la dynamique de la population, les données quantitatives (1986, 2000, 2013, 2017, 2025) ont été collectées à l'institut national de la statistique et de la démographie.

La relation entre la variabilité climatique et les transformations de l'occupation du sol a été évaluée à l'aide du test de corrélation de Spearman (ρ), adapté aux séries temporelles hétérogènes et aux effectifs limités. Les variables comprenaient les indices d'anomalies pluviométriques et thermiques, les tendances climatiques significatives (Mann–Kendall, pente de Sen), ainsi que les superficies et transitions

des principales classes d'occupation du sol. La corrélation de Spearman est calculée par :

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

où d_i est la différence de rangs entre les valeurs des deux variables pour chaque observation, et n représente le nombre total de paires d'observations comparées.

La valeur de ρ varie entre -1 et +1. Une valeur $\rho > 0$ indique une corrélation positive, c'est-à-dire que l'augmentation de l'une des variables est associée à l'augmentation de l'autre. À l'inverse, une valeur $\rho < 0$ traduit une corrélation négative, où l'augmentation d'une variable s'accompagne d'une diminution de l'autre. Une valeur ρ proche de 0 reflète l'absence de relation monotone entre les variables. La significativité statistique de chaque corrélation a été évaluée séparément pour les températures et les précipitations, avec un seuil de $p < 0,05$. Ainsi, pour les températures, une corrélation est considérée significative lorsque l'augmentation des températures est liée de manière fiable aux changements dans les classes d'occupation du sol, par exemple l'expansion des zones bâties. Pour les précipitations, la corrélation est significative lorsque la variation des pluies exerce un effet robuste sur les superficies agricoles ou sur d'autres classes d'occupation du sol.

Ce test permet de quantifier les liens monotones entre climat et dynamique territoriale.

2. Résultats

L'effectif de la population de la commune de Bohicon a varié entre les différents recensements généraux de la population et de l'habitation. Il est de même des paramètres climatiques notamment les températures et les pluies.

2.1 Dynamique urbaine à Bohicon

La commune de Bohicon a connu une croissance urbaine marquée entre 1986 et 2016, stimulée par sa position géographique stratégique et le développement de ses infrastructures socioéconomiques. Le Tableau I présente l'évolution du taux d'urbanisation jusqu'en 2017.

Tableau I : Dynamique de la population et évolution du taux d’urbanisation à Bohicon

Population urbaine	1986	2000	2013	2017
Population urbaine	31 674	71 685	117 596	130 331
Population totale	64 655	101 675	171 781	223 520
Taux d’urbanisation réel	49%	71%	68%	58%

Source : Tossou N. M, 2019, p.106

Le taux d’urbanisation est passé de 49 % en 1986 à 71 % en 2000, traduisant une forte concentration de population dans le centre urbain. Cependant, cette tendance s’est inversée après 2000 : le taux est retombé à 58 % en 2017, conséquence d’un étalement urbain vers les périphéries. Cette dynamique contribue à accroître la pression sur les ressources énergétiques, les sols et l’environnement, posant un défi majeur pour la durabilité urbaine.

Les densités de population sont très élevées dans certains arrondissements tandis qu’elles sont faibles dans d’autres (Tableau II).

Tableau II : Densités de population des arrondissements de Bohicon

Arrondissements	1979	1992	2002	2013
Bohicon I	511	60	1730	2078
Bohicon II	7499	13288	20078	28717
Agongointo	171	221	340	760
Gnidjazoun	186	231	249	402
Sodohomè	77	139	154	253
Saclo	238	305	361	545
Ouassaho	232	330	435	574
Avogbanna	457	507	608	1222
Lissèzoun	207	278	367	739
Passagon	287	338	420	595
Total	303	489	675	1025

Source : INStaD, 1983, 1994, 2004, 2016

Le tableau II révèle que la densité de la population a plus que triplé de 1979 à 2013. Cette forte densité s’accompagne d’une forte sollicitation des ressources pour l’alimentation. Toutefois, une légère disparité caractérise la densité par arrondissement. Les arrondissements de Bohicon I et Bohicon II sont les plus densifiés avec des valeurs très importantes. Dans les arrondissements de Agongointo, Avogbana et Lissèzoun, de 1979 à 1992, 1992 à 2002 et 2002 à 2013, les accroissements sont respectivement de 2,2 %, 5,4 %, 11,2 %; 0,8 %, 2

%, 9,2 %; et 2,6 %, 3,2 %, 9,2 %. Il est donc évident que l'on observe des pressions sur le foncier, les équipements et infrastructures sociocommunitaires et les ressources naturelles. Les figures 2 et 3 présentent la dynamique spatiale de la commune de Bohicon entre 2005 et 2025.

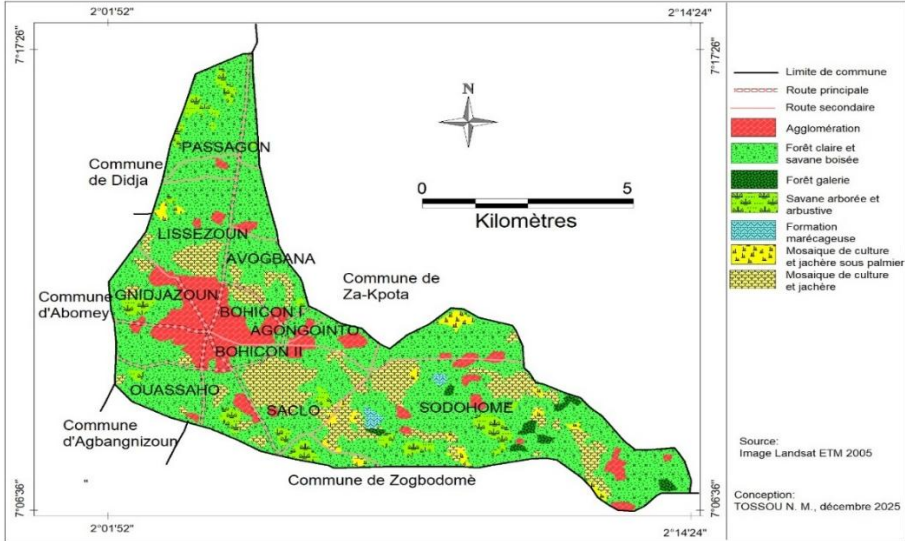


Figure 2 : Occupation du sol dans la commune de Bohicon en 2005

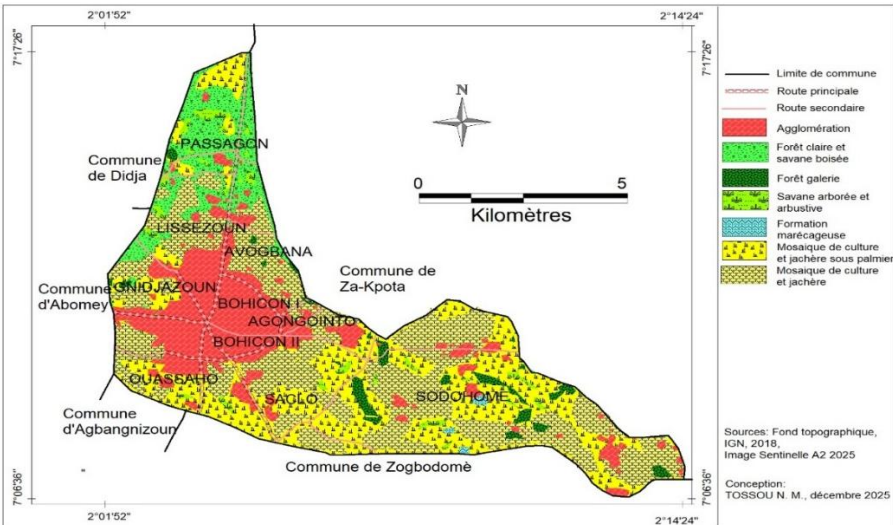


Figure 3 : Occupation du sol dans la commune de Bohicon en 2025

L'observation des figures 2 et 3 montre une modification profonde de l'occupation de la commune de Bohicon entre 2005 et 2025. Les

données statistiques révèlent que les agglomérations ont progressé de 81,7 %, les cultures et jachères de 67,82 %, les formations naturelles ont régressé de 61,35 %. Cette dynamique urbaine est mise à l'épreuve par les variabilités climatiques.

2.2 Variabilité climatique

La variabilité climatique est analysée aux pas de temps mensuel et annuel.

2.2.1 Caractéristiques climatiques et cycles saisonniers

Le climat de Bohicon est de type transitionnel, marqué par l'alternance de quatre saisons : une grande saison des pluies de mars à juillet, une petite saison sèche en août, une petite saison des pluies de septembre à octobre, et une grande saison sèche de novembre à février (Figure 4).

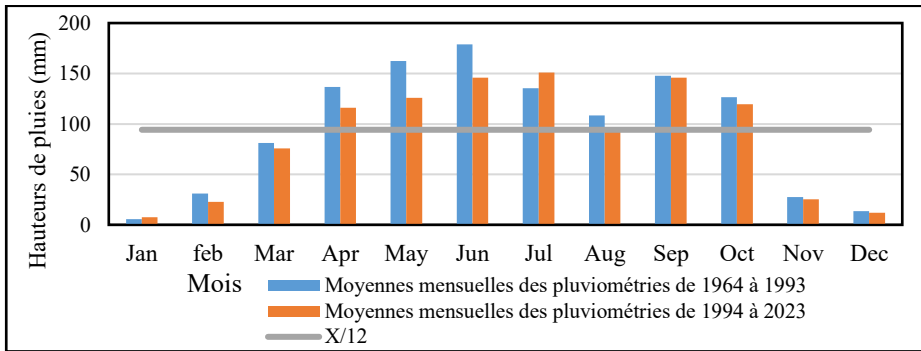


Figure 4 : Évolution de la moyenne pluviométrique mensuelle par rapport au douzième de la moyenne annuelle

Source : Météo Bénin, avril 2025

L'analyse des moyennes mensuelles montre que le mois le plus humide était juin pour la période 1964-1993, tandis que pour 1994-2023, c'est juillet qui enregistre les précipitations les plus élevées. Le mois de janvier reste le plus sec sur l'ensemble de la période étudiée.

Comparativement aux années 1964-1993, les mois de mars, avril, mai, juin, juillet, septembre et octobre ont connu une réduction des lames d'eau précipitées entre 1994 et 2023, traduisant une variabilité accrue de la pluviométrie. La moyenne annuelle est passée d'environ 1130 mm à 1 105 mm, soit une baisse de 25 mm.

Ces résultats mettent en évidence la dynamique climatique à Bohicon, caractérisée par une redistribution des pluies au cours de l'année et une légère diminution globale des précipitations. Cette évolution souligne la nécessité d'intégrer la dimension climatique dans les stratégies d'urbanisation et de planification durable de la commune.

2.2.2 Variabilité interannuelle des précipitations

Le climat de la commune de Bohicon se caractérise par une forte variabilité interannuelle des précipitations, traduite par une succession d'années excédentaires et déficitaires (Figures 5 & 6).

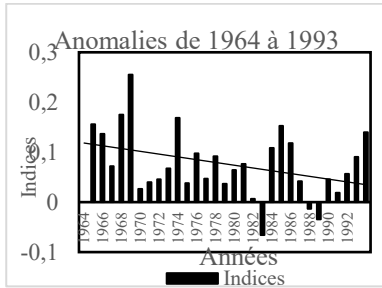


Figure 5 : Variabilité pluviométrique de 1964-1993

Source : Météo Bénin, avril 2025

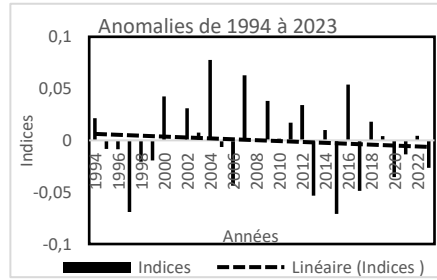


Figure 6 : Variabilité pluviométrique de 1994 à 2023

L'analyse des indices pluviométriques pour les périodes 1964-1993 et 1994-2023 révèle que certaines années ont connu des déficits marqués. Pour la première période, les années 1982, 1987 et 1988 ont été particulièrement déficitaires, avec un écart pouvant atteindre 270 mm par rapport à la moyenne.

Pour la seconde période, les années déficitaires se concentrent sur 1995 à 1999, 2005 à 2006, 2013, 2015, 2017, 2020 à 2021 et 2023, avec des déficits pouvant atteindre 396 mm. En revanche, les années excédentaires ont enregistré des surplus pluviométriques compris entre 435 et 1050 mm.

La proportion d'années déficitaires a fortement augmenté, passant de 10 % pour 1964-1993 à 43 % pour 1994-2023, traduisant une période récente globalement moins pluvieuse, avec une diminution d'environ 33 % de la pluviométrie moyenne. Les courbes de variabilité indiquent une tendance générale à la baisse des hauteurs de pluie, ce qui souligne la nécessité de considérer cette dynamique dans l'élaboration de stratégies d'adaptation urbaine et de gestion des ressources en eau.

2.2.3 Variabilité et décalage des saisons pluvieuses

Les saisons des pluies présentent une forte irrégularité dans leur démarrage, leur fin et leur durée (Tableau III).

Tableau III : Fréquences des débuts, fins et durées des saisons de pluies à Bohicon (1964-1993 et 1994-2023)

Période	Début de la saison	Fréquence (%)	Fin de la saison	Fréquence (%)	Durée de la saison (mois)	Fréquence (%)
1964-1993	Février	10	Septembre	23	6	17
	Mars	57	Octobre	67	7	27
	Avril	30	Novembre	7	8	36
	Mai	3	Décembre	3	9	17
					10	3
1994-2023	Février	7	Juillet	3	4	7
	Mars	27	Août	3	5	3
	Avril	43	Septembre	23	6	30
	Mai	23	Octobre	63	7	23
			Novembre	0	8	27
			Décembre	7	9	10

Source : Météo Bénin, avril 2025

Entre 1964 et 1993, le début des pluies à Bohicon se produisait principalement en mars (57 %), suivi d'avril (30 %), février (10 %) et mai (3 %). Pour la période 1994-2023, les pluies ont tendance à démarrer plus tard, avec avril (43 %) et mai (23 %) en tête, traduisant un retard progressif.

La fin de la saison reste souvent concentrée en septembre et octobre, mais des terminaisons plus précoces en juillet ou août apparaissent depuis 1994, traduisant une variabilité accrue. La durée des saisons pluvieuses s'est également réduite : alors que 6 à 9 mois étaient les durées les plus fréquentes auparavant, certaines saisons récentes ne durent plus que 4 à 5 mois.

Cette instabilité des saisons, avec des débuts plus tardifs, des fins parfois précoces et des durées plus courtes, a des implications directes pour l'agriculture, la gestion de l'eau et l'urbanisme, soulignant la nécessité de mesures d'adaptation et de renforcement de la résilience.

2.2.4 Évolution des températures

L'analyse des températures minimales et maximales à Bohicon sur les périodes 1964-1993 et 1994-2023 révèle une nette tendance au réchauffement (Figures 7, 8, 9 & 10).

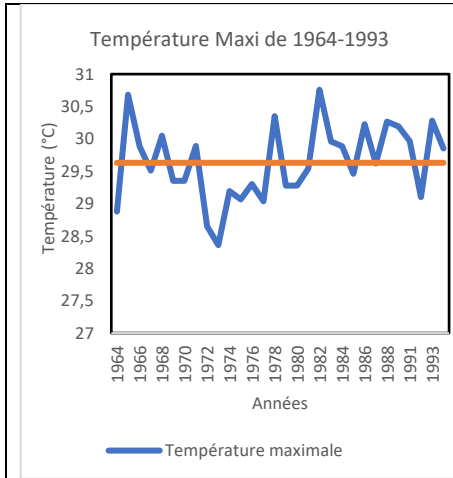


Figure 7 : Evolution des températures maximales à Bohicon entre 1964-1993

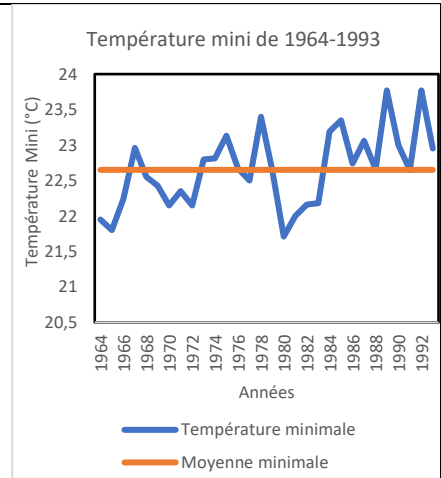


Figure 8 : Evolution des températures minimales à Bohicon entre 1964-1993

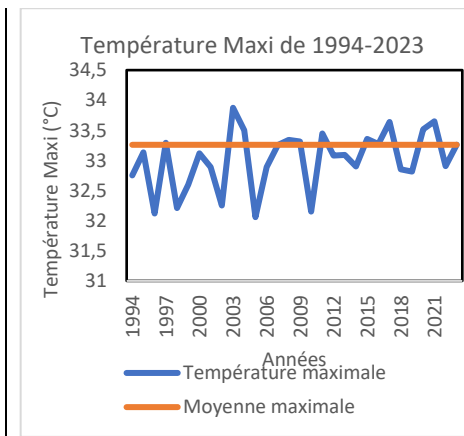


Figure 9 : Evolution des températures maximales à Bohicon entre 1994-2023

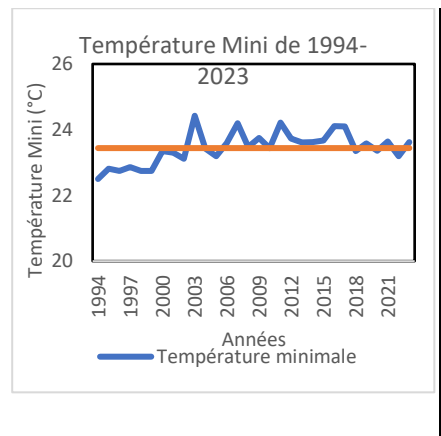


Figure 10 : Evolution des températures minimales à Bohicon entre 1994-2023

Source : Météo Bénin, avril 2025

Les températures minimales sont passées de 21,8 °C à 23,6 °C, et les maximales de 30,6 °C à 33,2 °C, soit une augmentation moyenne d'environ 1 °C pour les minimales et 3,6 °C pour les maximales.

Cette élévation thermique, combinée à la variabilité des précipitations, influence l'évaporation, la croissance des cultures et le confort thermique des populations. Elle contribue également à retarder le début de la grande saison des pluies, à concentrer les précipitations et parfois à prolonger anormalement certaines saisons.

Ces conditions rendent la planification agricole et urbaine plus incertaine et soulignent l'importance de stratégies d'adaptation et de résilience climatique, afin de mieux gérer les ressources naturelles et de sécuriser les activités socioéconomiques dans la commune de Bohicon.

2.2.5. Tendances et estimations quantitatives des anomalies climatiques

Les tests statistiques appliqués aux indices d'anomalies climatiques permettent de quantifier de manière objective la variabilité et les tendances observées sur la période 1964-2023. Afin de synthétiser les résultats, le tableau IV présente les statistiques issues du test de Mann–Kendall ainsi que les estimations de la pente de Sen pour les anomalies de température maximale et de précipitations annuelles.

Tableau IV : Tests de Mann–Kendall et pente de Sen pour les anomalies climatiques à Bohicon (1964-2023)

Variable climatique	Statistique Z (Mann–Kendall)	Niveau de significativité	Pente de Sen	Interprétation
Température maximale	5,36	$p < 0,01$	+0,023 °C/an	Tendance haussière forte et significative
Précipitations annuelles	- 1,33	$p > 0,10$	- 2,07 mm/an	Absence de tendance monotone significative

Source : Résultats de tests (Données : Météo Bénin, avril 2025)

Les résultats indiquent que les anomalies de température maximale présentent une tendance positive statistiquement très significative, comme l'atteste la valeur élevée de la statistique Z ($Z = 5,36$). L'estimation de la pente de Sen montre une augmentation moyenne des anomalies thermiques de l'ordre de +0,02 °C par an, traduisant un réchauffement progressif et durable du climat local.

À l'inverse, les anomalies pluviométriques ne révèlent pas de tendance monotone significative sur la période étudiée. La valeur négative mais non significative de la statistique Z ($Z = -1,33$) ainsi que la faible pente de Sen ($-2,07$ mm/an) indiquent que la pluviométrie est dominée par une forte variabilité interannuelle, caractérisée par une alternance de phases déficitaires et excédentaires plutôt que par une évolution linéaire marquée.

Ces résultats mettent en évidence un contraste net entre la dynamique thermique, structurée par une tendance haussière robuste, et la

dynamique pluviométrique, marquée par l'irrégularité, constituant un élément clé pour l'analyse des implications de la variabilité climatique sur l'urbanisme durable.

2.3. Corrélations de Spearman entre variabilité climatique et transformations de l'occupation du sol à Bohicon

Le test de Spearman révèle des relations significatives entre la variabilité climatique et les transformations de l'occupation du sol (Tableau V).

Tableau V : Corrélations de Spearman (ρ) entre variables climatiques et classes d'occupation du sol

Classes d'occupation du sol	Température (ρ)	Précipitations (ρ)	Interprétation
Zones bâties	+0,68 (sig.)	0,12 (non sig.)	Extension liée au réchauffement
Formations naturelles	0,05 (non sig.)	-0,54 (sig.)	Dégradation liée aux périodes sèches
Mosaïques de cultures / jachères	0,08 (non sig.)	+0,47 (sig.)	Adaptation aux variations pluviométriques

(sig. : significatif, non sig. : non significatif)

Source : Résultats de tests (Données : Météo Bénin, avril 2025, images satellitaires Landsat ETM de 1986, 2000, 2005, 2013, 2017 et Sentinelle A2 de 2025)

L'augmentation des températures (anomalies positives et tendance haussière confirmée par la pente de Sen) est positivement corrélée à l'extension des zones bâties, tandis que les formations naturelles présentent une corrélation négative avec les séquences sèches, traduisant leur dégradation et conversion en espaces agricoles ou urbains. Les mosaïques de cultures et jachères montrent une corrélation positive avec la variabilité pluviométrique, reflétant l'adaptation des pratiques agricoles aux conditions climatiques instables.

2.4 Implications urbaines de la variabilité climatique

Les résultats précédents révèlent une forte interaction entre la dynamique urbaine de Bohicon et les changements climatiques. L'expansion urbaine rapide, marquée par un étalement spatial et une occupation parfois anarchique du sol, accentue la vulnérabilité face aux aléas climatiques. La réduction et l'irrégularité des saisons pluvieuses compromettent l'approvisionnement en eau potable et la recharge des

nappes phréatiques, ce qui accroît la pression sur les infrastructures hydrauliques.

De même, la baisse globale des précipitations combinée à une augmentation des températures renforce les risques d'îlots de chaleur urbains, de pollution atmosphérique et d'inconfort thermique, avec des impacts directs sur la santé publique et la qualité de vie des populations. Ces phénomènes imposent la mise en œuvre de solutions d'aménagement adaptées, telles que l'intégration d'espaces verts, la promotion de matériaux de construction plus durables et l'amélioration de la ventilation naturelle dans les quartiers.

Par ailleurs, la variabilité interannuelle des pluies et la survenue d'années déficitaires fréquentes fragilisent les réseaux routiers, les marchés et les zones résidentielles. Les inondations ponctuelles, causées par la concentration des pluies en de courtes périodes, affectent directement les axes de communication et ralentissent la mobilité urbaine. Cela appelle une gestion plus rigoureuse des bassins de rétention, du drainage pluvial et des zones non constructibles.

Enfin, ces transformations soulignent l'urgence d'intégrer la dimension climatique dans la planification urbaine de Bohicon. Un urbanisme durable devrait viser à renforcer la résilience des infrastructures, à mieux gérer l'étalement urbain et à adapter la ville aux nouveaux régimes climatiques. La prise en compte des aléas climatiques dans les documents d'aménagement, le renforcement de la gouvernance locale et la sensibilisation des populations apparaissent comme des leviers essentiels pour assurer un développement urbain équilibré et résilient.

3. Discussion

L'analyse des données climatiques et urbaines de Bohicon met en évidence une variabilité pluviométrique marquée et une hausse significative des températures entre 1964 et 2023. Les résultats montrent une diminution globale des précipitations, un retard du démarrage des saisons pluvieuses, une concentration accrue des pluies sur de courtes périodes, ainsi qu'une réduction imprévisible de la durée des saisons. Ces tendances, particulièrement visibles depuis 1994, confirment une accentuation de la sécheresse et une instabilité climatique croissante, avec 43 % d'années déficitaires contre seulement 10 % sur la période précédente. Les résultats chiffrés issus des tests de Mann-Kendall et de la pente de Sen confirment que la variabilité climatique observée à Bohicon est dominée par un signal thermique robuste, tandis que la pluviométrie demeure marquée par une forte

irrégularité. La tendance haussière significative des anomalies de température maximale, estimée à environ +0,23 °C par décennie, constitue un facteur aggravant pour les îlots de chaleur urbains, le confort thermique et la consommation énergétique.

En revanche, l'absence de tendance significative des précipitations, combinée à une forte dispersion interannuelle, accroît l'incertitude hydrologique en milieu urbain, augmentant simultanément les risques d'inondation et de stress hydrique. Ces résultats soulignent l'importance d'intégrer les indicateurs climatiques issus de tests statistiques robustes dans les politiques d'urbanisme durable, notamment pour l'adaptation des infrastructures, la gestion des eaux pluviales et la planification spatiale résiliente.

Cette dynamique n'est pas spécifique à Bohicon. Des études menées dans d'autres régions du Bénin et d'Afrique de l'Ouest (S. S. Tassigui, 2018 ; J. L. Djohy *et al.*, 2015, A. Kountangni *et al.* 2024) révèlent des fluctuations interannuelles similaires, traduisant un contexte régional de forte variabilité climatique. La hausse observée des températures minimales (+1 °C) et maximales (+3,6 °C) accentue cette instabilité, renforçant l'évaporation, la demande énergétique et l'inconfort thermique des populations. Dans le centre du Bénin, les températures minimales ont connu une hausse avec un coefficient moyen annuel de 0,0034 et les températures maximales ont augmenté avec un coefficient moyen annuel de 0,0006 de 1951 à 2022 (A. Kountangni *et al.*, 2024, p. 517). Ces évolutions rendent la gestion des ressources en eau, la planification agricole et la gouvernance urbaine plus complexes.

Les résultats confirment également que la dynamique urbaine locale influence et subit les effets du climat. Le taux d'urbanisation de Bohicon dépasse celui national qui est de 47 % en 2020 (PNUD, 2022, p. 2). Les mêmes tendances sont observées dans la commune d'Avrankou où le taux d'urbanisation estimé en 50 % en 2025 (A. Adégbinni, 2023, p. 14). L'étalement spatial de Bohicon, la prolifération d'habitats spontanés et la densification des quartiers centraux contribuent à accroître la vulnérabilité face aux aléas climatiques. Ces transformations amplifient les risques d'inondation, aggravent les îlots de chaleur et accentuent la pression sur les infrastructures d'eau, d'assainissement et de mobilité. Les résultats d'étude réalisée par MEHU (2011, p. 106) montrent que les changements climatiques ont entraîné sur la période de 1981 à 2011, des perturbations des activités socio-économiques, sous forme de fermeture temporaire de centres de santé, d'écoles ou d'entreprises

suites aux inondations, ou sous forme de perturbation des calendriers agricoles. D'après les projections réalisées par l'OCDE, l'expansion urbaine devrait se poursuivre à un rythme galopant à travers tout le continent, qui ne comptera pas moins de 1,4 milliard de citoyens d'ici 2050 (OCDE *et al.*, 2025, p.22). La gestion urbaine doit donc être repensée pour intégrer la dimension climatique dans la conception et l'entretien des infrastructures.

En termes de résilience, les résultats proposent des pistes d'adaptation. La gestion intégrée des bassins versants et des réseaux de drainage, la planification d'espaces verts pour atténuer les îlots de chaleur, l'utilisation de matériaux adaptés aux fortes chaleurs et aux pluies intenses, ainsi que la régulation de l'occupation du sol apparaissent comme des leviers prioritaires. Ces mesures rejoignent les recommandations du GIEC (2007), selon lesquelles les changements climatiques constituent une menace directe pour le développement durable en réduisant la capacité d'adaptation des sociétés locales. Dans ce contexte il faudra penser à l'application des principes du développement durable. Cette application crée de nouvelles capacités d'ajustement de la vulnérabilité et facilite l'adaptation aux changements climatiques (ADEUS, 2012, p. 8).

Ainsi, l'étude met en évidence la nécessité d'une gouvernance urbaine renforcée à Bohicon, capable d'articuler adaptation climatique et urbanisme durable, afin d'assurer la sécurité hydrique, énergétique et sanitaire des populations.

Conclusion

L'analyse de la variabilité climatique à Bohicon révèle un climat de plus en plus chaud et instable, caractérisé par une tendance haussière significative des températures maximales (+0,02 °C/an, test de Mann-Kendall, pente de Sen) et une forte irrégularité des précipitations annuelles. Les tests statistiques réalisés montrent une corrélation positive entre l'augmentation des températures et l'extension des zones bâties d'une part, et entre les mosaïques de cultures et jachères et la variabilité pluviométrique d'autre part. Les variations des paramètres climatiques ont donc des répercussions directes sur l'agriculture, la disponibilité en eau et la qualité de vie urbaine. L'urbanisation rapide et souvent non planifiée amplifie ces vulnérabilités, en exposant davantage les populations aux risques d'inondations, d'îlots de chaleur et de pression sur les infrastructures.

Ces résultats mettent en évidence l'urgence d'intégrer la dimension climatique dans les politiques d'aménagement du territoire et de planification urbaine. La promotion d'un urbanisme durable, reposant

sur des infrastructures résilientes, une gestion rigoureuse des ressources naturelles et un contrôle de l'expansion urbaine, est essentielle pour renforcer la résilience locale.

La ville de Bohicon illustre ainsi le double défi des villes africaines en pleine croissance. Elle doit à la fois s'adapter aux effets du changement climatique et maîtriser son expansion urbaine. La réussite de cette transition repose sur la capacité des acteurs locaux et nationaux à concevoir et appliquer des approches coordonnées, capables de concilier adaptation climatique, urbanisme durable et amélioration des conditions de vie des populations.

Références bibliographiques

ADEGBINNI Adéothy. (2023). *Lotissements, urbanisation et activités agricoles dans les communes périurbaines d'Adjarra et d'Avrankou*. Collection Recherche.

ADEUS (Agence de Développement et d'Urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise). (2012). *Adaptation au changement climatique par l'urbanisme*. Les notes de l'ADEUS.

ANDERSON Brilé, PRIETO-CURIEL Rafael, PATIÑO Jorge. (2023). *Formes urbaines et changement climatique en Afrique*. Notes ouest-africaines, OCDE.

BOKO Michel. (1988). *Climat et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythme de développement*. Thèse d'État ès lettres, Université de Bourgogne.

DJOHY Gildas Louis, BOÏ WOSSO Eliel, KINZO Nickson Esther. (2015). Variabilité climatique et production cotonnière dans la commune de Kandi au nord Bénin. *XXVIII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège, 325-330.

FENG Qiu, GAUTHIER Pierre. (2018). *Changements climatiques, étalement urbain et aménagement physico-spatial. Recension de la littérature et cadre conceptuel*, Université Concordia.

KENDALI Maurice George. (1975). *Rank Correlation Methods* (4^e éd.). Charles Griffin.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). (2007). *Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation – Résumé à l'intention des décideurs*. Disponible sur www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/wg2/ar4-wg2-spm-fr.pdf.

KOUNTANGNI Maurice, ADJAKPA Théodore, DJESSONOU Franco-Néo Camus, ADJAKPA Cyrille, YABI Ibouaïma. (2024). Déterminants des changements climatiques dans le sous bassin versant

d'Agbado au Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 45 (1), 517-531.

LOKONON Boris Odilon Kounagbè, MBAYE Ahmadou Aly. (2018). Climate change and adoption of sustainable land management practices in the Niger basin of Benin. *Natural Resources Forum*, 42 (1), 42-53. DOI : 10.1111/1477-8947.12142.

MANN Henry Bertthold. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13 (3), 245 -259.

MEHU (Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme). (2011). *Deuxième communication nationale de la République du Bénin sur les changements climatiques*. Direction Générale de l'Environnement.

Météo Bénin. (2023). *Rapport de la situation pluviométrique de 2023*. Direction de la climatologie et des applications météorologiques.

OCDE. (2025). Dynamiques de l'urbanisation africaine 2025 : Planifier l'expansion urbaine. *Cahiers de l'Afrique de l'Ouest*, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/cb26f4e2-fr>.

PNUD (2022). *Evolution socio-économique au Bénin - Situation actuelle et perspectives*. Note de stratégie, PNUD.

SAHNOUNE Sara. (2021). Le changement climatique : Conséquence du développement durable. *Revue EL – Études de développement économique*, 04 (08), 1-18.

SEN Pranab Kumar. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63 (324), 1379 -1389.

SPEARMAN Charles (1904). *The proof and measurement of association between two things*. *American Journal of Psychology*, 15, 72–101. <https://doi.org/10.2307/1412159>

TASSIGUI Sio 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.

TASSIGUI Sio Sabi. (2018). *Caractérisation de la variabilité hydropluviométrique dans le bassin versant de la Mékrou à Kompongou à l'aide du ModHyPMA*. Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi.

TOSSOU N'gnonmissè Mèdéhouénou. (2019). *Étalement urbain dans le doublet Abomey-Bohicon : Problèmes et défis pour un développement durable*. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi.