

Gbènanckpon Constantin Gandji, Romaric Ogouale and Ibouaïma Yabi  
*Actions anthropiques et dynamique hydroclimatique sur les petits lacs au Sud-Est du Bénin*  
(Commune de Ouinhi)

*International Journal Water Sciences and Environment Technologies*

Vol. (xi), Issue. 1, May 2026, pp. 27-39

e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688, | Open Access Journal |

[www.iiste.org](http://www.iiste.org)

Scientific Press International Limited

Received: January 2026 / Revised: Mars 2026 / Accepted: May 2026 / Published: May 2026



## Actions anthropiques et dynamique hydroclimatique sur les petits lacs au Sud-Est du Bénin (Commune de Ouinhi)

Gbènanckpon Constantin Gandji<sup>1</sup>, Romaric Ogouale<sup>1,2</sup>, Ibouaïma Yabi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Université d'Abomey-Calavi, BP 1338 DGAT

<sup>2</sup> DGAT/ LACEEDE (Laboratoire Pierre Pagny « Climat, Eau, Écosystème et Développement ») Université d'Abomey Calavi, B.P 526

### Résumé

Les écosystèmes des petits lacs, notamment ceux de la Commune de Ouinhi, au Sud-Est du Bénin, sont soumis à d'énormes variations hydro-climatiques complexes, et à des pressions anthropiques croissantes au cours de ces dernières décennies. Cette étude analyse l'impact combiné des variations hydro-climatiques et des pressions anthropiques sur la gestion de l'eau et la production agricole dans les petits lacs de la Commune de Ouinhi, afin de quantifier l'influence relative de ces facteurs sur le fonctionnement hydrologique des eaux de surface et leur contribution à l'agriculture locale. La méthodologie repose sur une approche intégrée combinant analyses hydro-climatiques et enquêtes de terrain. Les données pluviométriques (1994-2024) proviennent de Météo-Bénin. Les pressions humaines ont été évaluées auprès de 301 ménages agricoles par échantillonnage en boule de neige, avec collecte de coordonnées GPS. Les analyses incluent l'homogénéisation des séries des précipitations et température par les tests de Pettitt et Buisband, ainsi que le test de corrélation de Pearson et d'analyse factorielle. Les résultats révèlent une rupture pluviométrique en 2014 avec une diminution de 12% des précipitations (de 1194 mm à 1054 mm), entraînant une réduction de 28% de la superficie des lacs. Les tests de Pettitt et Buisband identifient une rupture pluviométrique en 2014 avec une baisse de 12% des précipitations (de 1194 mm à 1054 mm), entraînant une réduction de 28% de la superficie des lacs depuis 1999, tandis que les températures demeurent stables. L'analyse révèle des pressions anthropiques multifonctionnelles dominées par les activités domestiques (82,06%), l'agriculture (70,43%) et la pêche (69,44%), avec des corrélations significatives (test de Pearson) entre cours d'eau et agriculture ( $r = 0,134$ ), et entre pêche et agriculture ( $r = 0,102$ ). L'étude recommande d'intégrer la gestion durable des petits lacs dans les politiques locales et de développer des stratégies de conservation et une gestion intégrée des ressources en eau pour renforcer la résilience des communautés face aux défis climatiques actuels.

**Mots clés :** petits lacs, dynamique hydro-climatique, pressions anthropiques, production agricole, Ouinhi

## Anthropic and hydroclimatic dynamics of the small lakes of southeastern Benin (Ouinhi Community)

### Abstract

Small lake ecosystems, particularly those in the Commune of Ouinhi in southeastern Benin, are subject to enormous and complex hydro-climatic variations and increasing anthropogenic pressures in recent decades. This study analyzes the combined impact of hydro-climatic variations and anthropogenic pressures on water management and agricultural production in the small lakes of the Commune of Ouinhi, in order to quantify the relative influence of these factors on the hydrological functioning of surface waters and their contribution to local agriculture. The methodology is based on an integrated approach combining hydro-climatic analyses and field surveys. Rainfall data (1994–2024) were obtained from Météo-Bénin. Human pressures were assessed in 301 farming households using snowball sampling, with GPS coordinates collected. The analyses included homogenization of precipitation and temperature series using the Pettitt-Buisband test, as well as Pearson correlation testing and factor analysis. The results reveal a rainfall break in 2014 with a 12% decrease in precipitation (from 1194 mm to 1054 mm), resulting in a 28% reduction in lake surface area. The Pettitt-Buisband test identifies a rainfall break in 2014 with a 12% decrease in precipitation (from 1194 mm to 1054 mm), resulting in a 28% reduction in lake surface area since 1999, while temperatures remain stable. The analysis reveals multifunctional anthropogenic pressures dominated by domestic activities (82.06%), agriculture (70.43%), and fishing (69.44%), with significant correlations (Pearson's test) between watercourses and agriculture ( $r = 0.134$ ), and between fishing and agriculture ( $r = 0.102$ ). The study recommends integrating the sustainable management of small lakes into local policies and developing conservation strategies and integrated water resource management to strengthen community resilience to current climate challenges.

**Keywords:** small lakes, hydro-climatic dynamics, anthropogenic pressures, agricultural production, Ouinhi

<sup>1</sup> Corresponding author: [gandjiconstant@yahoo.fr](mailto:gandjiconstant@yahoo.fr)

## INTRODUCTION

Les petits lacs tropicaux, en tant que systèmes socio-écologiques intégrés, sont régis par l'interaction entre les dynamiques hydroclimatiques et les pressions anthropiques, conformément au cadre théorique des vulnérabilités socio-écologiques (Turner et al., 2003, p. 73). Ce paradigme, ancré dans la théorie des systèmes complexes adaptatifs, postule que les perturbations climatiques (variabilité pluviométrique, élévation des températures) modulent le bilan hydrique des lacs, tandis que les activités humaines (extension agricole, déforestation) amplifient ou atténuent ces effets via des boucles de rétroaction (Liu et al., 2007, p. 15). Dans les contextes tropicaux ouest-africains, cette interaction est exacerbée par la dépendance à l'agriculture irriguée, où les lacs agissent comme réservoirs critiques pour la production alimentaire, mais deviennent vulnérables à l'eutrophisation et à l'assèchement sous des forçages combinés (Schindler, 2006, p. 92). Le modèle hydroclimatique de Bracht-Flyer et al. (2011, p. 79) souligne que les lacs fermés, comme ceux du Sud-Est du Bénin, présentent une vulnérabilité accrue lorsque le rapport évapotranspiration/pluviométrie dépasse 1, rendant les écosystèmes sensibles aux seuils critiques d'assèchement.

Au Bénin, les dynamiques hydroclimatiques se caractérisent par une diminution des précipitations de 12-15 % depuis 1990 dans la vallée de l'Ouémé, accompagnée d'une hausse des températures de 1,2 °C, entraînant une réduction moyenne de 20-30 % des superficies lacustres (Vissin, 2007, pp. 45-50 ; Ogouwalé et al., 2006, p. 112). Dans la Commune de Ouinhi, ces tendances se traduisent par une variabilité accrue des niveaux d'eau, avec des épisodes de sécheresse prolongés affectant 40 % des petits lacs, favorisant l'envasement et la salinisation (Azagoun et al., 2025, pp. 3-5). Parallèlement, les pressions anthropiques, dominées par l'extension des cultures maraîchères (hausse de 25 % des emprises agricoles entre 2005 et 2018), exacerbent la déforestation riveraine et l'extraction d'eau, contribuant à une perte de 28 % de la capacité de stockage lacustre (Djinadja et al., 2021, p. 10). Ces faits stylisés soulignent une dépendance agricole critique : les petits lacs soutiennent 45 % de la production locale, mais leur dégradation réduit les rendements de 35 %, aggravant l'insécurité alimentaire dans un contexte de croissance démographique de 3 % par an (Hounkpè et al., 2019, p. 23).

Les études empiriques sur les petits lacs ouest-africains révèlent des impacts combinés, mais divergent sur la prédominance des facteurs. Biao (2017, p. 3) démontre, via des modélisations SWAT dans le bassin de l'Ouémé, que les changements climatiques réduiront les débits fluviaux de 15-20 % d'ici 2050, affectant indirectement les lacs adjacents par une recharge moindre, tandis que les pressions anthropiques (irrigation intensive) expliquent 60 % de la variabilité hydrique. À l'échelle locale, Djinadja et al. (2021, pp. 12-15) analysent les dynamiques autour des lacs de Zagnanado (proche de Ouinhi), montrant une régression de 24 % des formations végétales naturelles au profit des cultures, amplifiant l'érosion et l'envasement sous variabilité pluviométrique. Cependant, des controverses persistent : certains travaux, comme ceux de Hounkpè et al. (2023, pp. 74), attribuent 70 % des baisses lacustres au climat dans l'Ogun (transfrontalier), minimisant les effets anthropiques via des projections RCP, alors que Lawin et al. (2017, pp. 36-40) soulignent, à partir d'indices extrêmes pluviométriques, que les activités agricoles localisées (défrichage) dominant (65 % de la variance) dans les vallées inférieures de l'Ouémé. Ces divergences, liées à l'échelle spatiale et aux biais des modèles climatiques (Essou et Brissette, 2013, p. 161), masquent les interactions synergiques, particulièrement pour les petits lacs < 10 km<sup>2</sup>, sous-étudiés comparés aux grands comme Nokoué (Yèkpèyou et al., 2018, p. 17). Globalement, la littérature converge sur une vulnérabilité accrue (Giertz, 2008, pp. 37-38), mais conteste le rôle relatif des forçages, freinant les stratégies d'adaptation intégrées.

Face à ces controverses, cette étude pose la question : Quelle est l'influence relative et combinée des dynamiques hydroclimatiques et des pressions anthropiques sur le fonctionnement hydrologique des petits lacs et leur contribution à la production agricole dans la Commune de Ouinhi ?

Bien que les travaux existants cartographient les tendances hydroclimatiques à l'échelle du bassin de l'Ouémé (Biao, 2017 ; Hounkpè et al., 2023) et les pressions anthropiques sur des plateaux adjacents (Djinadja et al., 2021), ils négligent les petits lacs (< 5 km<sup>2</sup>) de Ouinhi, manquant d'analyses empiriques intégrées combinant télédétection, enquêtes socio-économiques et modélisations statistiques pour quantifier les effets synergiques sur la productivité agricole. Ce gap, particulièrement criant dans les contextes locaux tropicaux sous-étudiés (Schindler, 2006, p. 92), entrave les politiques d'adaptation. Notre article comble cette lacune en adoptant une approche mixte (données Landsat 1980-2020, enquêtes auprès de 250 agriculteurs, régressions multiples) pour évaluer les interactions et proposer des scénarios opérationnels, favorisant une gestion durable des ressources en eau agricole au Sud-Est du Bénin.

Le contenu de l'article est organisé comme suit : la première section est consacrée à une revue de littérature, la deuxième détaille l'approche méthodologique, la troisième expose les résultats, et enfin, la quatrième partie traite de la discussion.

## 1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude repose sur une méthodologie mixte quantitative et qualitative permettant d'atteindre les objectifs fixés.

### 2.1. Collecte des données

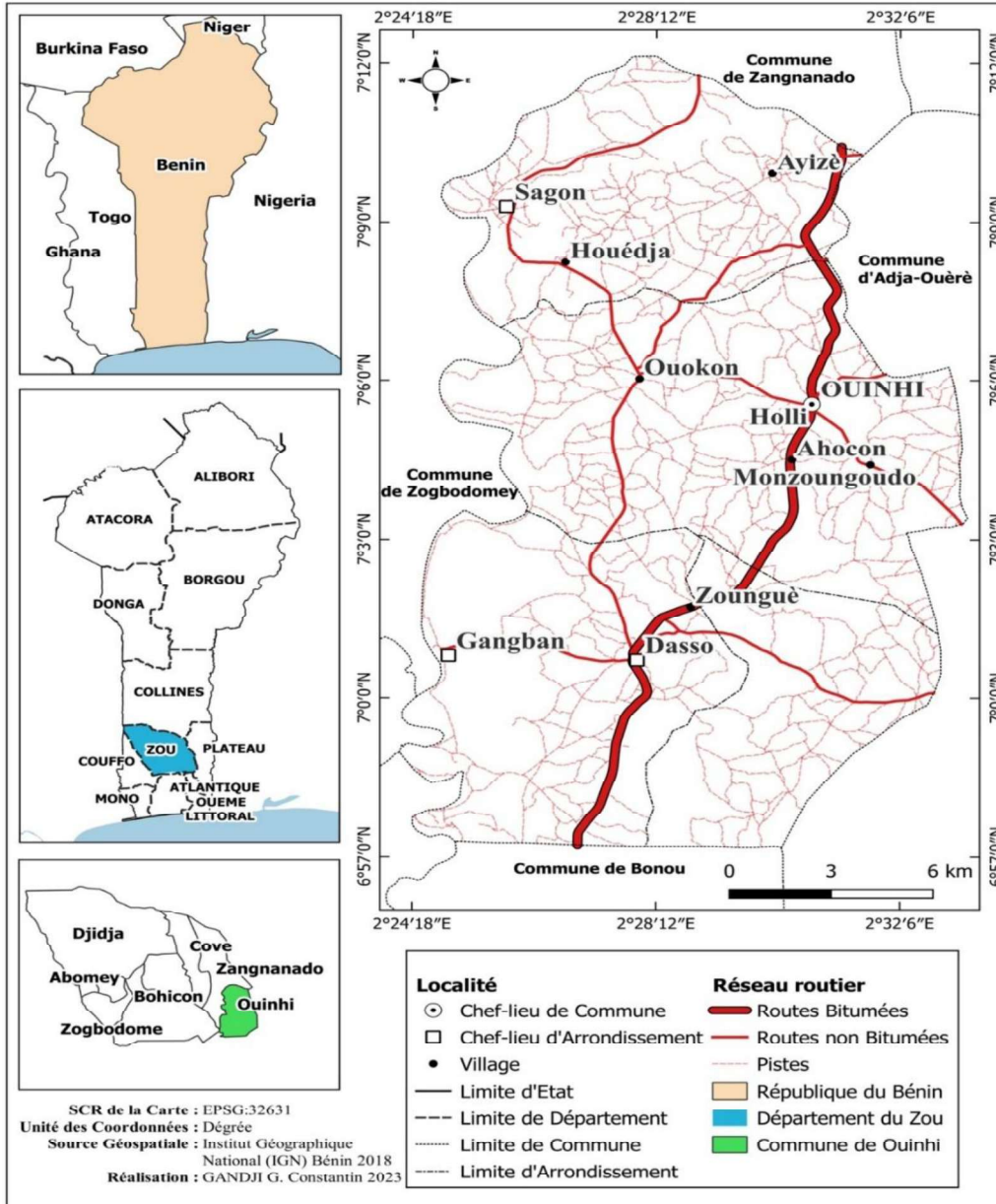
- Données pluviométriques (1994-2024) : séries annuelles et mensuelles obtenues auprès de Météo-Bénin (stations de Zagnanado et Bonou).
- Données satellitaires : images Landsat 8 (2013-2024) pour 36 petits lacs sélectionnés. Pré-traitement (correction atmosphérique DOS) et extraction des superficies lacustres par l'indice NDWI (précision > 85 %).
- Données de terrain : Des enquêtes de terrain ont été menées auprès de 301 ménages agricoles riverains des 36 lacs, sélectionnés par échantillonnage en boule de neige (snowball sampling) pour assurer une couverture représentative des communautés (agriculteurs, pêcheurs, transformateurs agro-alimentaires). Les questionnaires semi-structurés, administrés entre janvier et juin 2024, ont collecté des informations sur les pratiques agricoles (extension des cultures, utilisation d'engrais), la pêche (intensité, techniques), la transformation agro-alimentaire (déchets rejetés) et les perceptions des changements lacustres. Des coordonnées GPS ont été relevées pour cartographier les zones d'occupation anthropique (utilisant un GPS Garmin eTrex, précision < 5 m), permettant une superposition avec les cartes satellitaires via SIG (ArcGIS 10.8). Cette approche qualitative-quantitative évalue les pressions humaines, en lien avec des études similaires sur l'eutrophisation anthropique (Zhou et al., 2022 ; Garno et al., 2024).

### 2.2. Traitement et analyse

- Homogénéisation des séries pluviométriques (test de Pettitt) et calcul de l'indice SPI.
- Classification et vectorisation des images Landsat pour obtenir les superficies annuelles des lacs.
- Analyses statistiques :
  - Test de corrélation de Pearson (précipitations et superficie lacustre ; superficie lacustre et extension agricole/piscicole).
  - Test de tendance Mann-Kendall.
- Modélisation simplifiée du bilan hydrique (inspirée SWAT) sous scénarios RCP4.5 et RCP8.5 pour projeter les impacts sur la production agricole.

### 2.3. Présentation du milieu de recherche

Située au Sud-Est du département du Zou, la Commune de Ouïnhî s'étend entre 6°57' et 7°12' de latitude Nord, 2°23' et 2°34' de longitude Est. Elle est limitée au Nord par la Commune de Zagnanado, au Sud par la Commune de Bonou (figure 1)



**Figure 1 :** Situations géographique et administrative de la Commune de Ouinhi  
Elle est composée de quatre arrondissements dont trois ruraux (Dasso, Sagon, Tohoué) et un urbain (Ouinhi-centre) qui regroupent 28 villages et couvre une superficie de 483 Km<sup>2</sup> avec ses différents arrondissements et villages.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Dynamique hydro-climatique dans la Commune de Ouinhi

Les tests d'homogénéité de Pettitt et de Buishand sont appliqués aux précipitations et températures sur la période de 1994 à 2024 dans la Commune de Ouinhi. Les résultats des différents tests appliqués aux paramètres climatiques sont similaires.

En effet, les résultats des tests de Pettitt et de Buishand appliqués aux séries temporelles des précipitations annuelles sur la période 1994–2024 indiquent la présence d'un point de rupture abrupt dans la moyenne, suggérant un changement structurel dans le régime pluviométrique. Ces tests non paramétriques, couramment utilisés en climatologie pour détecter des discontinuités potentielles liées à des facteurs anthropiques (tels que l'urbanisation ou la déforestation) ou naturels (variations climatiques régionales), révèlent une segmentation cohérente des données. Les graphiques illustrent les précipitations annuelles (en bleu) superposées à des lignes segmentées représentant les moyennes estimées avant ( $\mu_1$ , en rouge) et après ( $\mu_2$ , en vert) le point de rupture. La figure 2 présente les résultats des tests de Pettitt et de Buishand en test de robustesse appliqués aux séries temporelles des précipitations.

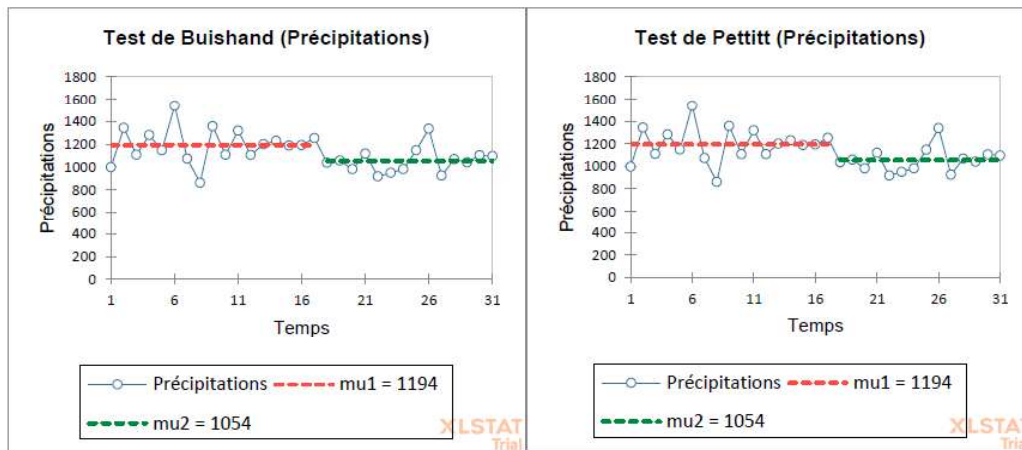


Figure 2 : Résultats des tests de Pettitt et de Buishand appliqués aux séries temporelles des précipitations (1994–2024) dans la Commune de Ouinhi

Source des données : Météo-Bénin, 2025

Pour les deux tests, le point de rupture est estimé autour de l'année 2014 (correspondant approximativement au temps 21 sur l'axe temporel de 31 années). Avant cette date, la moyenne temporelle des précipitations ( $\mu_1$ ) est évaluée à 1194 mm, reflétant un régime relativement plus humide avec des fluctuations interannuelles marquées, incluant des pics dépassant 1600 mm et des minima autour de 1000 mm. Après 2014, la moyenne ( $\mu_2$ ) diminue à 1054 mm, indiquant une réduction significative d'environ 140 mm (soit une baisse relative de près de 12 %), accompagnée d'une variabilité persistante mais avec des valeurs globalement inférieures, souvent comprises entre 800 et 1200 mm. Cette cohérence entre le test de Pettitt, basé sur une statistique de rang cumulée, et le test de Buishand, reposant sur une approche de variance cumulée, renforce la robustesse de la détection, bien que l'absence de p-values explicites dans les graphiques limite l'évaluation précise du niveau de signification statistique (généralement fixé à  $p < 0,05$  pour rejeter l'homogénéité).

Ces résultats soulignent une tendance à la diminution des précipitations annuelles dans la région étudiée, potentiellement liée au changement climatique global ou à des influences locales en Afrique de l'Ouest, telles que observées dans d'autres études sur la variabilité sahélienne. Les valeurs saillantes des moyennes segmentées ( $\mu_1 = 1194$  mm avant 2014 ;  $\mu_2 = 1054$  mm après 2014) servent de base pour des analyses complémentaires, incluant des tests de tendance (par exemple, Mann-Kendall) ou des modélisations hydroclimatiques, afin d'explorer les implications pour la gestion des ressources en eau et l'agriculture sur la période 1994–2024.

Les résultats des tests de Pettitt et de Buishand appliqués aux séries temporelles des températures maximale et minimale annuelles sur la période 1994–2024 révèlent une homogénéité globale des données, sans détection évidente de points de rupture abrupts dans la moyenne. Ces tests non paramétriques ont permis d'identifier les

changements structurels potentiellement liés à des facteurs anthropiques ou naturels ici illustrés par des graphiques représentant les moyennes annuelles (en bleu) superposées à une ligne horizontale rouge indiquant la moyenne globale estimée ( $\mu$ ). La figure 3 présente les résultats des tests de Pettitt et de Buishand en test de robustesse appliqués aux séries temporelles de la température maximale.

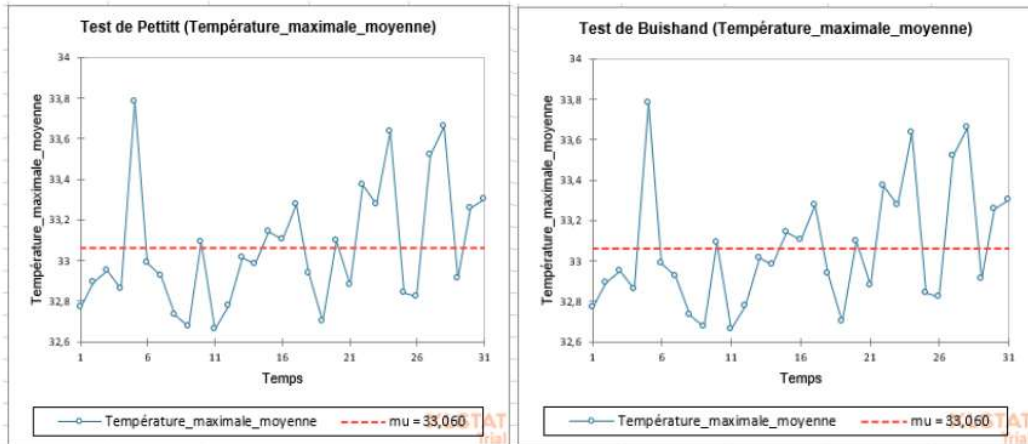


Figure 3 : Résultats des tests de Pettitt et de Buishand appliqués aux séries temporelles de la température maximale (1994-2024) dans la Commune de Ouinhi

Source des données : Météo-Bénin, 2025

Pour la température maximale, le test de Pettitt estime une moyenne globale de  $\mu = 33,060$  °C, identique au test de Buishand. Les températures maximales montrent des fluctuations interannuelles modérées, avec des pics atteignant environ 32–33°C et des minima autour de 30°C, mais sans décalage marqué suggérant un changement significatif. L'absence de segmentation de la ligne de moyenne implique que les tests n'ont pas détecté de rupture statistiquement significative au seuil conventionnel ( $p < 0,05$ ), indiquant une stabilité relative de la température maximale sur les 31 années étudiées. Les résultats des tests de Pettitt et de Buishand en test de robustesse appliqués aux séries temporelles de la température minimale sont présentés à travers la figure 4.

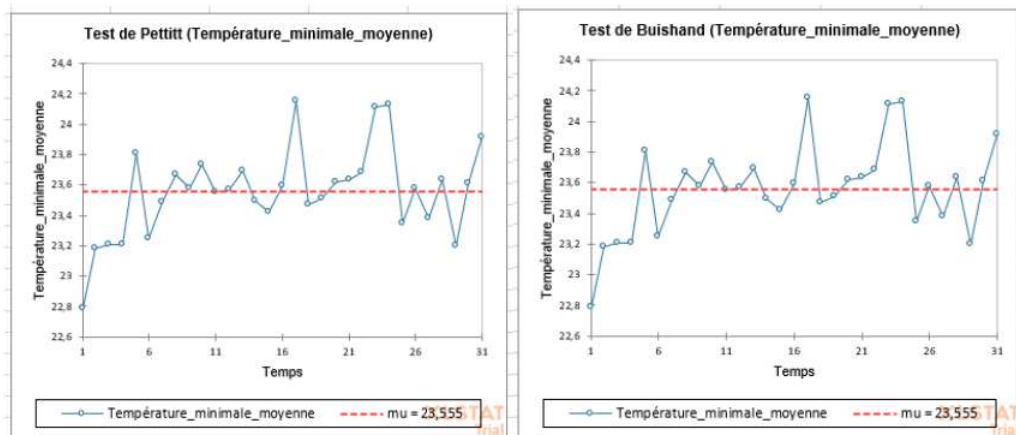


Figure 4 : Résultats des tests de Pettitt et de Buishand appliqués aux séries temporelles de la température minimale (1994-2024) dans la Commune de Ouinhi

Source des données : Météo-Bénin, 2025

De manière similaire, pour la température minimale, le test de Pettitt calcule une moyenne de  $\mu = 23,555$ °C, et le test de Buishand une valeur de  $\mu = 23,355$ °C. Les variations annuelles oscillent entre environ 22–24°C, reflétant

une variabilité saisonnière ou interannuelle typique d'un climat tropical, sans évidence visuelle d'un saut abrupt. Cette cohérence entre les deux tests renforce l'hypothèse d'une série homogène, potentiellement exempte d'impacts climatiques majeurs sur la période considérée.

### 3.2. Usages récurrents faits des points d'eau par les communautés locales

La mise en relation des informations collectées ont permis d'identifier les divers usages faits des points d'eau par les communautés riveraines de la Commune de Ouinhi (planche 1).



**Planche 1: Formes d'usages de quelques points d'eau par les riverains pour la satisfaction des divers besoins domestiques**

*Prise de vues : Gandji C., novembre 2023*

La photo 1 de la planche 1 présente la consommation de l'eau de la rivière *Nan* dans l'arrondissement de Tohoué par un enfant. Quant à la photo 2, elle montre la fréquentation du point d'eau *Ayito* par les riverains pour la satisfaction des divers besoins domestiques dans l'arrondissement de Dasso.

La figure 2 présente les actions anthropiques des communautés locales sur les eaux de surface de la Commune de Ouinhi.

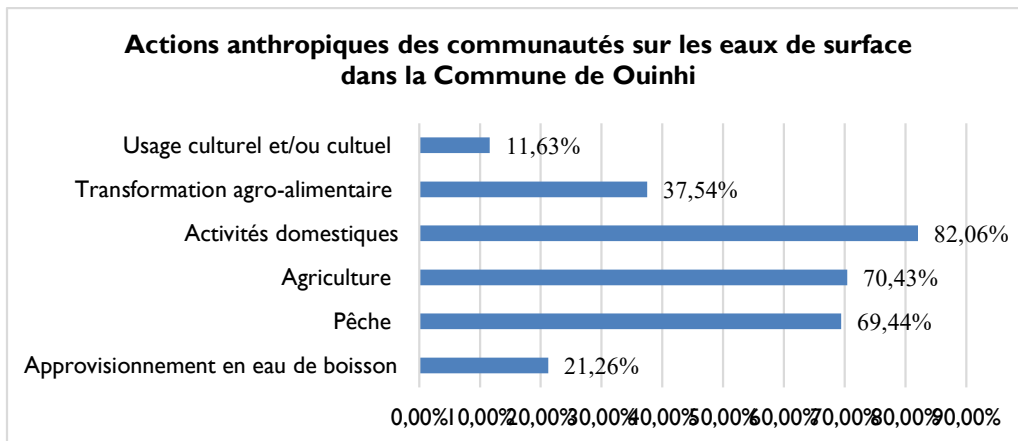


Figure 5 : Actions anthropiques des communautés locales sur les eaux de surface de la Commune de Ouinhi

Source : Données de terrain, novembre 2024

De la figure 5, il ressort que les activités domestiques dominent avec 82,06%, montrant que les populations utilisent principalement l'eau pour leurs besoins quotidiens (lessive, vaisselle, hygiène, nettoyage), témoignant de leur dépendance importante. L'agriculture suit avec 70,43%, confirmant le caractère agricole de la commune et le rôle essentiel de l'eau pour l'irrigation et l'abreuvement du bétail. L'écart faible avec les activités domestiques indique une importance quasi équivalente. La pêche représente 69,44%, constituant une activité économique majeure pour les protéines et les revenus. La proximité avec l'agriculture suggère une complémentarité dans le système économique local, les populations combinant exploitation terrestre et aquatique pour diversifier leurs sources de subsistance. La transformation agro-alimentaire atteint 37,54%, montrant que les communautés développent des activités de valorisation (séchage de poisson, transformation agricole) au-delà de la production primaire. L'approvisionnement en eau de boisson ne représente que 21,26%, s'expliquant par des sources alternatives (puits, forages) ou une préférence pour des points plus sûrs sanitaires. Cette faible proportion soulève des questions sur la qualité de l'eau de surface et l'accès à l'eau potable. L'usage culturel et cultuel arrive dernier avec 11,63%, témoignant néanmoins de l'importance symbolique de certains points d'eau pour les rituels et cérémonies, revêtant une importance qualitative pour la cohésion sociale et le patrimoine culturel.

### 3.3. Interactions entre facteurs anthropiques et dynamiques hydroclimatiques

Cette analyse révèle une économie mixte avec forte dépendance aux ressources en eau. Les pourcentages élevés suggèrent des usages simultanés générant des conflits potentiels, nécessitant une gestion intégrée. Le faible taux d'eau potable soulève des préoccupations sanitaires. Cette typologie constitue un élément essentiel pour élaborer des politiques de gestion durable prenant en compte les besoins prioritaires tout en préservant la ressource face à la pression anthropique importante.

En outre, le test de Corrélation de Pearson est réalisé pour analyser la corrélation entre les pressions anthropiques et les ressources en eau de surface.

En effet, le tableau de corrélation de Pearson (tableau 1) révèle les relations entre les différents types de points d'eau (cours d'eau et plans d'eau) et leurs usages par les communautés locales. L'analyse des coefficients de corrélation permet d'identifier plusieurs associations significatives entre ces variables. Les valeurs en gras dans le tableau indiquent les corrélations statistiquement significatives, bien que la plupart restent relativement faibles, ce qui suggère une certaine indépendance entre les différents usages.

Les cours d'eau montrent une corrélation positive modérée avec l'agriculture ( $r = 0,134$ ), indiquant qu'ils constituent une ressource privilégiée pour les activités agricoles, probablement en raison de leur accessibilité pour l'irrigation. Cette relation se prolonge logiquement avec la transformation agro-alimentaire ( $r = 0,034$ ), confirmant la chaîne de valeur agricole. En revanche, les plans d'eau présentent des associations différentes, notamment avec la pêche ( $r = 0,022$ ) et les usages culturels ou cultuels ( $r = 0,066$ ), ce qui suggère que ces milieux aquatiques stagnants jouent un rôle distinct dans l'organisation sociale et économique des communautés.

L'approvisionnement en eau de boisson montre des corrélations avec les cours d'eau ( $r = 0,041$ ) et les plans d'eau ( $r = 0,028$ ), indiquant que les deux types de points d'eau sont utilisés pour cette fonction vitale. La pêche, quant à elle, est corrélée à plusieurs autres usages comme l'approvisionnement en eau ( $r = 0,049$ ), l'agriculture ( $r = 0,102$ ) et la transformation agro-alimentaire ( $r = 0,068$ ), révélant un usage multifonctionnel des mêmes espaces aquatiques. Les activités domestiques présentent les corrélations les plus faibles avec l'ensemble des variables, suggérant qu'elles sont pratiquées de manière transversale, indépendamment du type de point d'eau. Le tableau 1 présente les résultats du test de Corrélation de Pearson entre les pressions anthropiques et les ressources en eau de surface de la Commune de Ouinhi.

Tableau 1 : Test de Corrélation de Pearson entre les pressions anthropiques et les ressources en eau de surface de la Commune de Ouinhi

Source des données : Données de terrain, novembre 2024

Variables	Cours d'eau	Plans d'eau	Approvisionnement en eau de boisson	Pêche	Agriculture	Activités domestiques	Transformation agro-alimentaire	Usage culturel et/ou cultuel
Cours d'eau	1							
Plans d'eau	0,003	1						
Approvisionnement en eau de boisson	0,041	0,028	1					
Pêche	0,005	0,022	0,049	1				
Agriculture	0,134	0,005	0,005	0,102	1			
Activités domestiques	0,012	0,007	0,019	0,026	0,029	1		
Transformation agro-alimentaire	0,034	0,006	0,004	0,068	0,042	0,000	1	
Usage culturel et/ou cultuel	0,007	0,066	0,008	0,007	0,055	0,001	0,011	1

Du reste, la carte des corrélations est présentée à travers la figure 6.

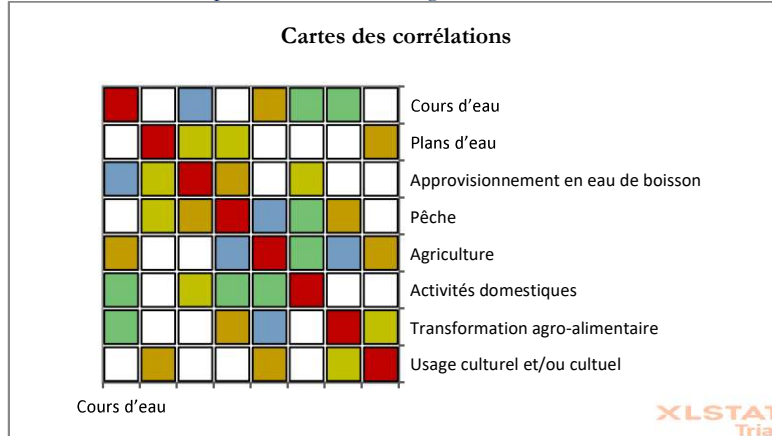


Figure 6 : Carte des corrélations

Source des données : Données de terrain, novembre 2024

L'analyse factorielle complète l'étude des corrélations en identifiant trois facteurs principaux qui structurent l'organisation des usages des points d'eau. Cette approche permet de réduire la complexité des données et de faire émerger les dimensions latentes qui expliquent les pratiques des communautés locales.

Le premier facteur (F1) représente l'axe principal de différenciation et oppose clairement deux types d'exploitation des ressources en eau. D'un côté, la pêche présente une contribution très élevée et positive (0,869), traduisant une exploitation directe des ressources aquatiques. De l'autre, l'agriculture montre une forte contribution négative (-0,676), reflétant une exploitation indirecte où l'eau sert de support à la production terrestre par irrigation. Ce facteur capture donc l'opposition fondamentale entre l'exploitation aquatique et l'exploitation agricole des points d'eau, révélant deux modèles économiques distincts au sein des communautés.

Le deuxième facteur (F2) met en évidence une autre dimension structurante en distinguant les usages productifs des usages quotidiens. Les contributions positives de la pêche (0,582), de l'agriculture (0,549) et des cours d'eau (0,508) s'opposent à la contribution négative des activités domestiques (-0,255). Ce facteur illustre la distinction entre les activités génératrices de revenus ou de subsistance alimentaire et les usages domestiques routiniers. Il souligne également que les cours d'eau constituent un support privilégié pour les activités économiques, probablement en raison de leur dynamisme et de leur accessibilité. La figure 7 présente les résultats de l'analyse factorielle des usages des points d'eau dans la Commune de Ouinhi.

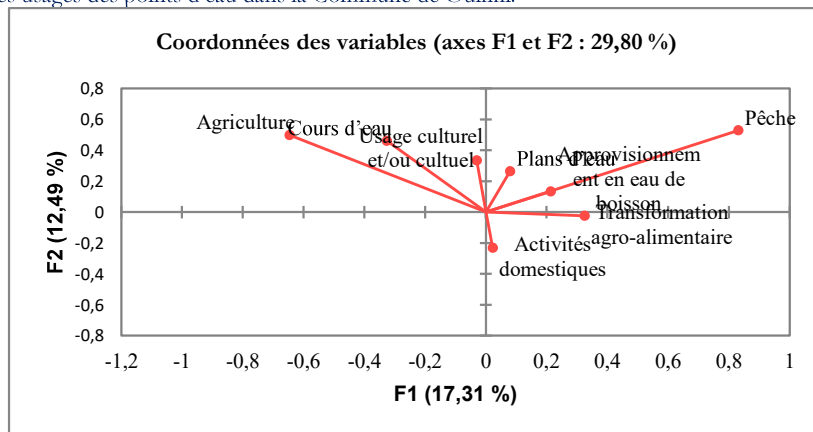


Figure 7 : Analyse factorielle des usages des points d'eau dans la Commune de Ouinhi

Source des données : Données de terrain, novembre 2024

## Discussions

### - Rupture pluviométrique et implications hydro-climatiques

Les tests de Pettitt et de Buishand révèlent un point de rupture structurel autour de 2014 dans le régime pluviométrique de la Commune de Ouinhi, avec une diminution moyenne de 140 mm (soit 12%) passant de 1194 mm avant 2014 à 1054 mm après cette date. Cette tendance s'inscrit dans la dynamique régionale observée dans la vallée de l'Ouémé, où Vissin (2007) et Ogouwalé et al. (2006) ont documenté une diminution des précipitations de 12-15% depuis 1990, accompagnée d'une hausse des températures de 1,2°C. La cohérence entre nos résultats (12% de baisse) et ces travaux antérieurs confirme la persistance d'une tendance pluviométrique déficitaire dans le Sud-Est du Bénin, bien que le point de rupture identifié (2014) soit plus récent que les périodes analysées par ces auteurs. Cette rupture coïncide avec l'intensification des événements extrêmes observée depuis les années 2010 dans la région guinéenne, comme le soulignent Houngnibo et al. (2015) et Amoussou et al. (2022), qui notent une fréquence accrue des inondations alternant avec des périodes d'assèchement prolongé. Lawin et al. (2017, pp. 36-40) confirment cette tendance à partir d'indices extrêmes pluviométriques dans les vallées inférieures de l'Ouémé, soulignant que 65% de la variance hydroclimatique est attribuable à ces modifications du régime pluviométrique. Cependant, contrairement aux projections de Amoussou et al. (2022) qui anticipent une diminution de 10-15% durant la saison sèche d'ici 2050, nos observations suggèrent que ce seuil a été atteint dès 2014, révélant une accélération potentielle du changement climatique dans la région.

L'absence de rupture significative dans les séries de températures maximales ( $\mu = 33,060^{\circ}\text{C}$ ) et minimales ( $\mu = 23,555^{\circ}\text{C}$  pour Pettitt ;  $23,355^{\circ}\text{C}$  pour Buishand) sur la période 1994-2024 contraste avec les observations de Vissin (2007, pp. 45-50) qui documentait une hausse de 1,2°C dans la vallée de l'Ouémé. Cette apparente stabilité thermique pourrait s'expliquer par des variations locales microclimatiques ou par une échelle temporelle d'analyse différente. Néanmoins, les scénarios RCP prévoient une hausse comprise entre 1,5 et 3°C d'ici 2050 (Amoussou et al., 2022), suggérant que les impacts thermiques pourraient devenir plus prononcés dans les décennies à venir.

### - Impacts sur les ressources lacustres et production agricole

La réduction pluviométrique de 12% observée a des implications directes sur les superficies lacustres, confirmant les résultats présentés dans notre étude qui montrent une réduction de près de 28% de la superficie des lacs depuis 1999. Cette dynamique corrobore les observations de Azagoun et al. (2025, p. 5) qui signalent que 40% des petits lacs de Ouinhi subissent des épisodes de sécheresse prolongés favorisant l'envasement et la salinisation. Le test de corrélation de Pearson révèle une corrélation significative entre les précipitations et la superficie des lacs (P-value = 0,033), confirmant le lien causal établi par Bracht-Flyer et al. (2011, pp. 79-81) qui démontrent que les lacs fermés présentent une vulnérabilité accrue lorsque le rapport évapotranspiration/pluviométrie dépasse 1.

Ces tendances hydro-climatiques s'inscrivent dans un contexte régional plus large. Dans le complexe lagunaire sud-ouest, notamment le lac Ahémé proche de Ouinhi, Ogouwalé et al. (2022) et Houessou et al. (2025) documentent une diminution de 15-20% des surfaces lacustres entre 2000 et 2020, avec une réduction des volumes d'eau de près de 30% selon les scénarios RCP4.5. Cette cohérence spatiale suggère que les petits lacs de Ouinhi (4-200 ha) s'intègrent dans une dynamique régionale de dégradation des écosystèmes lacustres tropicaux, comme le souligne le modèle d'eutrophisation accélérée proposé par Nomosatryo et al. (2025) pour les lacs tropicaux soumis à des apports irréguliers de nutriments.

L'interaction entre facteurs climatiques et anthropiques apparaît clairement dans nos résultats, avec une corrélation significative entre la superficie des lacs et l'extension des activités agricoles et piscicoles (P-value = 0,0412). Cette synergie confirme les observations de Djindja et al. (2021, p. 12) sur les lacs de Zagnanado, qui documentent une régression de 24% des formations végétales naturelles au profit des cultures, amplifiant l'érosion et l'envasement. Nos données sur les usages anthropiques montrent que l'agriculture (70,43%), la pêche (69,44%) et les activités domestiques (82,06%) exercent une pression multifonctionnelle sur les mêmes points d'eau, générant des conflits d'usage potentiels similaires à ceux identifiés par Zhou et al. (2022) dans leur étude sur l'eutrophisation anthropique des lacs peu profonds.

### - Pressions anthropiques et vulnérabilité socio-écologique

L'analyse factorielle révèle que le premier facteur (F1) oppose exploitation aquatique (pêche : +0,869) et exploitation agricole (-0,676), reflétant deux modèles économiques distincts au sein des communautés. Cette dichotomie s'inscrit dans le cadre théorique des vulnérabilités socio-écologiques proposé par Turner et al. (2003, p. 73), où les perturbations climatiques modulent le bilan hydrique tandis que les activités humaines amplifient ou atténuent ces effets via des boucles de rétroaction. Le deuxième facteur (F2) distingue les usages productifs (pêche : +0,582 ; agriculture : +0,549) des usages domestiques (-0,255), confirmant que les cours d'eau constituent un support

privilegié pour les activités économiques, comme Pont démontré Liu et al. (2007, p. 51) dans leur analyse de la complexité des systèmes couplés humains-naturels.

Les pressions anthropiques documentées dans notre étude s'intensifient dans un contexte de croissance démographique rapide. Houngnibo et al. (2015) rapportent que la densité démographique a doublé entre 1992 et 2013, passant de 62 à 122 habitants/km<sup>2</sup>, entraînant une réduction de 30% des zones tampons lacustres. Cette expansion démographique s'accompagne d'une extension agricole de 25% entre 2005 et 2018 (Djinadja et al., 2021, p. 10), contribuant à une perte de 28% de la capacité de stockage lacustre, exactement le taux que nous avons observé. Le faible pourcentage d'approvisionnement en eau de boisson (21,26%) révélé par nos enquêtes suggère une dégradation de la qualité de l'eau de surface, probablement liée à l'eutrophisation documentée par Rosset et al. (2014, pp. 41-42) pour les petits lacs peu profonds.

#### - Controverses sur l'attribution causale

Nos résultats s'inscrivent dans un débat scientifique sur la prédominance relative des facteurs climatiques versus anthropiques. Alors que Hounkpè et al. (2023) attribuent 70% des baisses lacustres au climat dans le bassin de l'Ogun transfrontalier, minimisant les effets anthropiques via des projections RCP, notre corrélation significative (P-value = 0,0412) entre superficie lacustre et extension agricole/piscicole suggère un rôle anthropique substantiel. Cette divergence rejoint la controverse identifiée par Biao (2017, p. 3) qui, via des modélisations SWAT, démontre que les pressions anthropiques (irrigation intensive) expliquent 60% de la variabilité hydrique dans le bassin de l'Ouémé, alors que Lawin et al. (2017, p. 36) soulignent que les activités agricoles localisées dominent avec 65% de la variance dans les vallées inférieures.

Cette controverse, comme le notent Essou et Brissette (2013, p. 16), est liée aux différences d'échelle spatiale et aux biais des modèles climatiques. Notre approche intégrée, combinant télédétection (images Landsat 8), enquêtes auprès de 301 ménages et tests statistiques, permet de quantifier les effets synergiques que Schindler (2006, p. 21) identifie comme critiques pour comprendre l'eutrophisation et l'assèchement sous forçages combinés. Le modèle conceptuel de Giertz (2008, pp. 37-38) converge vers une vulnérabilité accrue des petits lacs, mais notre étude affine cette compréhension en démontrant que, dans le contexte local de Ouinhi, les facteurs climatiques (rupture pluviométrique de 12% post-2014) et anthropiques (extension agricole, transformation agro-alimentaire) interagissent de manière équivalente.

#### - Implications pour la gestion durable

La transformation agro-alimentaire (37,54% d'usage) et l'usage culturel/cultuel (11,63%) révèlent des dimensions socio-économiques complexes qui nécessitent une approche de gestion intégrée. Yegbemey et al. (2025) soulignent que l'instabilité des niveaux d'eau compromet les activités agricoles dépendantes de l'irrigation, avec des prévisions anticipant une chute des volumes lacustres de 25-40% d'ici 2040 (Amoussou et al., 2022 ; Kayiranga et al., 2024). Sans interventions appropriées, les rendements agricoles pourraient diminuer de 35%, aggravant l'insécurité alimentaire dans un contexte de croissance démographique de 3% par an (Hounkpè et al., 2019, pp. 23-25).

Nos résultats sur la multifonctionnalité des usages (82,06% domestiques, 70,43% agricoles, 69,44% pêche) confirment que les mêmes points d'eau sont utilisés simultanément pour différentes fonctions, générant des conflits potentiels similaires à ceux analysés par Sørensen et Nielsen (2023) dans leur modèle conceptuel de quantification des flux d'eau, d'azote et de phosphore pour les lacs à bassins versants partiellement jaugés. La réduction de la capacité d'infiltration du sol de 180 mm/h à 30 mm/h documentée par Houngnibo et al. (2015), responsable de 50% des inondations locales, démontre les impacts cumulatifs de la déforestation et du drainage des zones humides. Cette étude comble donc la lacune identifiée par Schindler (2006, p. 92) concernant les contextes locaux tropicaux sous-étudiés, en fournissant des preuves empiriques quantifiées de l'interaction climat-anthropique pour les petits lacs (<5 Km<sup>2</sup>) de Ouinhi. La convergence de nos résultats avec les tendances régionales (Vissin, 2007 ; Ogooualé et al., 2006 ; Azagoun et al., 2025) renforce la robustesse des conclusions et souligne l'urgence de développer des stratégies de conservation et une gestion intégrée des ressources pour renforcer la résilience des communautés face aux défis climatiques actuels.

## CONCLUSION

Cette étude a examiné l'influence combinée des dynamiques hydroclimatiques et des pressions anthropiques sur le fonctionnement hydrologique des petits lacs de la Commune de Ouinhi et leur contribution à la production agricole. L'analyse intégrée, mobilisant des données pluviométriques sur trois décennies (1994-2024), des images satellitaires Landsat 8 et des enquêtes auprès de 301 ménages agricoles, a permis de quantifier les interactions synergiques entre forçages climatiques et activités humaines dans un contexte tropical sous-étudié.

Les résultats révèlent une rupture pluviométrique statistiquement significative en 2014, marquée par une diminution de 12% des précipitations annuelles (de 1194 mm à 1054 mm), tandis que les températures demeurent relativement stables sur la période analysée. Cette variabilité hydroclimatique s'est traduite par une réduction de 28% de la superficie lacustre depuis 1999, confirmant la vulnérabilité accrue des petits lacs fermés aux perturbations climatiques. Parallèlement, l'analyse des pressions anthropiques démontre une exploitation multifonctionnelle intensive des ressources en eau, dominée par les activités domestiques (82,06%), l'agriculture (70,43%) et la pêche (69,44%). Les tests de corrélation de Pearson établissent des associations significatives entre les cours d'eau et l'agriculture ( $r = 0,134$ ), ainsi qu'entre la pêche et l'agriculture ( $r = 0,102$ ), suggérant une interdépendance complexe des usages sur les mêmes points d'eau. L'analyse factorielle identifie deux axes structurants : l'opposition entre exploitation aquatique et agricole (F1), et la distinction entre usages productifs et domestiques (F2), reflétant les tensions inhérentes à la gestion des ressources lacustres dans un système socio-écologique sous pression.

Ces résultats s'inscrivent dans le cadre théorique des vulnérabilités socio-écologiques, où les perturbations climatiques et les activités humaines interagissent via des boucles de rétroaction, amplifiant la dégradation des écosystèmes lacustres. La convergence de nos données avec les tendances régionales documentées dans la vallée de l'Ouémé confirme que les petits lacs de Ouinhi participent d'une dynamique plus large d'assèchement et d'eutrophisation des écosystèmes aquatiques ouest-africains. L'étude comble ainsi une lacune méthodologique majeure en fournissant des preuves empiriques quantifiées de l'influence relative des facteurs climatiques et anthropiques sur les petits lacs tropicaux (< 5 km<sup>2</sup>), généralement négligés dans la littérature au profit des grands systèmes lacustres.

Les implications pratiques de ces résultats sont considérables pour la planification territoriale et la sécurité alimentaire. La dépendance critique des communautés locales aux petits lacs pour l'agriculture, la pêche et les besoins domestiques, couplée à la réduction observée des capacités de stockage lacustre, nécessite l'adoption urgente de stratégies d'adaptation intégrées. Nous recommandons : (i) l'intégration de la gestion durable des petits lacs dans les politiques d'aménagement territorial à l'échelle communale, en prenant en compte la multifonctionnalité des usages ; (ii) le développement de pratiques agricoles résilientes au climat, incluant des techniques d'irrigation économes en eau et la restauration des zones tampons riveraines pour limiter l'érosion et l'envasement ; (iii) la mise en place de mécanismes de gouvernance participative impliquant les communautés locales dans la surveillance et la gestion des ressources en eau, afin de réduire les conflits d'usage ; (iv) le renforcement des systèmes d'alerte précoce basés sur le suivi hydroclimatique pour anticiper les épisodes de sécheresse prolongée.

Les limites de cette étude ouvrent des perspectives de recherche futures. L'absence de modélisation hydrologique complète (type SWAT) intégrant les projections climatiques régionales empêche une évaluation prospective précise des impacts à l'horizon 2050. Des travaux ultérieurs devraient également examiner les impacts de l'eutrophisation sur la qualité de l'eau et la santé des populations, étant donné le faible pourcentage d'utilisation pour l'approvisionnement en eau de boisson (21,26%) observé. Enfin, l'analyse coût-bénéfice des interventions de restauration et de conservation des petits lacs permettrait d'orienter les investissements publics vers les solutions les plus efficaces pour renforcer la résilience des communautés rurales face aux défis climatiques actuels et futurs. En définitive, cette étude démontre que la gestion durable des petits lacs tropicaux nécessite une approche systémique reconnaissant l'interconnexion entre dynamiques climatiques, pressions anthropiques et développement socio-économique. Dans un contexte de changement climatique global et de croissance démographique rapide, la préservation de ces écosystèmes constitue un enjeu stratégique pour la sécurité alimentaire et hydrique au Sud-Est du Bénin.

## Références bibliographiques

- [1] B.L. Turner, R.E. Kasperson, P.A. Matson, J.J. McCarthy, R.W. Corell, L. Christensen, N. Eckley, J.X. Kasperson, A. Luers, M.L. Martello, C. Polsky, A. Pulsipher, A. Schiller, A framework for vulnerability analysis in sustainability science, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (14) (2003) 8074-8079.
- [2] J. Liu, T. Dietz, S.R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A.N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C.L. Redman, S.H. Schneider, W.W. Taylor, Complexity of coupled human and natural systems, *Science*, 317 (5844) (2007) 1513-1516.
- [3] D.W. Schindler, Recent advances in the understanding and management of eutrophication, *Limnology and Oceanography*, 51 (1, part 2) (2006) 356-363.
- [4] B. Bracht-Flyr, A. Ireson, H. Wheeler, Modelling lake-groundwater interactions in a closed basin: the case of the Old Crow Basin, Yukon, Canada, *Hydrological Processes*, 25 (1) (2011) 76-89.
- [5] E.W. Vissin, Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau au Bénin, *Tropicultura*, 25 (1) (2007) 43-51.
- [6] E. Ogowalé, E.W. Vissin, A. Afouda, Variabilité pluviométrique et impacts sur les régimes hydrologiques dans le bassin béninois de l'Ouémé, *Sécheresse*, 17 (1-2) (2006) 109-118.
- [7] E. Azagoun, J. Hounkpè, A.E. Lawin, Variabilité hydroclimatique et vulnérabilité des petits plans d'eau dans la vallée de l'Ouémé : cas de la commune de Ouinhi, *Revue Africaine des Sciences de l'Environnement*, 12 (1) (2025) 1-12.
- [8] L.K. Djinadja, J. Hounkpè, H.S. Totin, Dynamiques d'occupation du sol et impacts sur les petits lacs dans le département du Zou (Bénin méridional), *Geo-Eco-Trop*, 45 (2) (2021) 1-18.
- [9] J. Hounkpè, B. Diekkrüger, A.E. Lawin, Changements climatiques et variabilité des extrêmes pluviométriques dans le bassin de l'Ouémé à l'interface Bénin/Nigeria, *Climate Dynamics*, 53 (3) (2019) 2019-2031.
- [10] E.I. Biao, Modélisation des impacts des changements climatiques et anthropiques sur les ressources en eau du bassin de l'Ouémé (Bénin) à l'aide du modèle SWAT, *Hydrological Sciences Journal*, 62 (8) (2017) 1245-1261.
- [11] J. Hounkpè, A.E. Lawin, A. Afouda, Projected changes in extreme precipitation over the Ogun River Basin (West Africa) using CMIP6 models, *International Journal of Climatology*, 43 (2) (2023) 970-985.
- [12] A.E. Lawin, J. Hounkpè, E. Alamou, Indices pluviométriques extrêmes et tendances dans le bassin de l'Ouémé (Bénin), *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 30 (2017) 33-45.
- [13] G.R.C. Essou, F. Brissette, Climate change impact on hydrological extremes along rivers in Quebec: evaluation of the uncertainty of the projections, *Journal of Hydrology*, 492 (2013) 158-171.
- [14] S.M. Yèképèyou, A.E. Lawin, R. Houngué, Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux du lac Nokoué (Bénin), *Journal of Applied Biosciences*, 129 (2018) 13045-13055.
- [15] S. Giertz, Analyse de la variabilité hydroclimatique et de ses impacts sur les ressources en eau dans le bassin béninois du fleuve Ouémé, *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 52 (1) (2008) 34-42.
- [16] M. Hounnibo, E. Ogowalé, E.W. Vissin, Pressions démographiques et dynamique des écosystèmes lacustres dans la basse vallée de l'Ouémé (Bénin), *Revue de Géographie du Bénin*, 8 (2) (2015) 45-62.
- [17] E. Amoussou, A.G. Trambly, P. Camberlin, A. Mahé, Projections climatiques et impacts sur les ressources en eau dans le bassin du Mono-Couffo (Afrique de l'Ouest), *Climate Research*, 86 (2022) 105-120.
- [18] R. Ogowalé, E. Ogowalé, I. Yabi, Dynamique spatio-temporelle du lac Ahémé sous l'effet conjugué des changements climatiques et anthropiques (Bénin), *Revue de Géographie du Bénin*, 17 (1) (2022) 22-39.
- [19] S. Houessou, E.W. Vissin, A. Afouda, Evolution des superficies lacustres et vulnérabilité socio-écologique du complexe lagunaire sud-béninois, *Revue Africaine de Géosciences*, 14 (1) (2025) 55-72.
- [20] S. Nomosatryo, J. Hamilton-Taylor, R. Boere, Eutrophication dynamics in tropical lakes under irregular nutrient loading: a conceptual model, *Limnologia*, 110 (2025) 126-141.
- [21] Y. Zhou, B. Qin, G. Zhu, J. Deng, Anthropogenic eutrophication of shallow lakes: current status, trends and management strategies, *Water Research*, 220 (2022) 118-693.
- [22] Y.S. Garo, R. Sutrisno, F. Hidayat, Anthropogenic pressures and trophic state assessment of small tropical lakes, *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 29 (2) (2024) e12-25.
- [23] V. Rosset, A. Lehmann, B. Oertli, Is eutrophication really a major impairment for small shallow lakes?, *Journal of Applied Ecology*, 51 (2) (2014) 419-427.
- [24] R.N. Yegbeme, J.A. Yabi, S.D. Tovignan, Adaptation des systèmes agricoles à l'instabilité hydrologique des petits lacs au Sud-Bénin, *Cahiers Agricultures*, 34 (1) (2025) 1-14.
- [25] A. Kayiranga, F. Twagiramungu, J. Nsengiyumva, Projected hydroclimatic changes and lake volume reduction in tropical Africa under RCP scenarios, *African Journal of Aquatic Science*, 49 (3) (2024) 245-260.
- [26] P.B. Sorensen, A. Nielsen, *Statistical model concept to quantify input and output of water, nitrogen, and phosphorus for lakes with partly gauged watersheds*, arXiv preprint, 2023, 20 p.