



Note sur l'influence de la variabilité climatique sur la disponibilité en eau dans le delta de l'Ouémé (Sud-Bénin)

Short paper about the influence of climate variability on water availability in the Oueme delta (Southern Benin)

Martial AMOU¹, Kévin SAMBIENI², Angèle D. AVOSSE³, René BODJRENOU⁴ & Françoise COMANDAN³

Abstract : Water resources are crucial to the economic growth of West African countries. This study evaluates the water availability in the Oueme delta using daily rainfall and discharge data (1960-2016) and statistical tests. The rainfall-flow relationship was also studied. The results show a decrease of 1.45mm/year in rainfall in the Oueme basin versus 2.51mm/year in the Delta. The supply flow to the Delta is decreasing by 0.5 m³/s annually. It reaches its maximum during the short rainy season (655 m³/s) and is strongly linked to rainfall in the Ouémé basin (correlation = 0.54). A full study of the water cycle could help identify the share of the resource that remains exploitable for the population of this area.

Key words: Oueme Basin, Oueme Delta, climate variability, water resources.

Résumé : La ressource en eau est très déterminante dans la croissance économique des pays de l'Afrique de l'Ouest. Cette étude évalue la disponibilité en eau du delta de l'Ouémé en utilisant les données journalières de pluie et débit (1960-2016) et les tests statistiques. La relation précipitation-écoulement a été aussi étudiée. Les résultats témoignent une diminution de la précipitation de 1,45mm/an sur le bassin de l'Ouémé contre 2,51mm/an sur le Delta. Le débit qui alimente le Delta connaît une baisse annuelle de 0,5 m³/s. Il présente son pic en petite saison pluvieuse (655 m³/s) et est fortement lié à la pluviométrie du bassin de l'Ouémé (corrélation= 0.54). Une étude complète du cycle de l'eau pourrait permettre d'identifier la part de la ressource qui reste exploitable pour la population de ce milieu.

Mots-Clés : Bassin de l'Ouémé, Delta de l'Ouémé, variabilité climatique, ressource en eau

INTRODUCTION.

L'impact des changements climatiques sur les ressources en eau constitue une menace aussi bien pour toutes les activités économiques que pour les écosystèmes. Les rapports du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2014) ont clairement démontré que les changements climatiques constituent des sources de menaces pour les sociétés humaines, surtout celles les plus vulnérables. L'une des caractéristiques de ces changements est l'exacerbation des extrêmes climatiques avec ses conséquences sur la disponibilité des ressources en eau observées depuis plusieurs décennies. En Afrique de l'Ouest, ils se caractérisent généralement par des sécheresses sévères paralysant le secteur agricole et des inondations catastrophiques détruisant les infrastructures. Ils impactent fortement tous les secteurs de l'économie. VISSIN & SINTONDI (2011) stipulent que de toutes les variables climatiques, la pluie est la plus déterminante en milieu tropical, en particulier en Afrique de l'Ouest. Son excès ou son déficit est responsable de plusieurs pertes et dommages observés dans la région.

Le Bénin comme la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest, apparaît comme une région particulièrement sensible. Ceci se justifie par son économie essentiellement basée sur l'agriculture pluviale dans un contexte de précipitations très variables (FAO, 2015). Le Delta de l'Ouémé représente pour le Bénin, une zone vitale en termes des aires urbaines côtières, d'agriculture, de gestion de risques d'inondation (plaines inondables), de pêches (ressources halieutiques) et de biodiversité (DJIHOUESSI *et al.*, 2019).

¹ Direction Générale de l'Environnement et du Climat (DGEC), MCVDD, e-mail : martial.amou@yahoo.com

² Graduate Research Program on Climate change and Water Resources/ West African Science Service Center on Climate change and Adapted Land Use, UAC-Benin, e-mail : sambienik@gmail.com

³ Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau (LHME) de l'Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi (UAC-Bénin), e-mail : avosangel@yahoo.fr ; fcomandan@gmail.com

⁴ Laboratoire d'Hydrologie Appliquée de l'INE, UAC-Bénin, e-mail : renebodjrenou@gmail.com

Le Delta de l’Ouémé est fondamental pour tout le Bénin car il collecte surtout en saison pluvieuse une grande partie des eaux de surface du pays, et agrège donc les enjeux d’eau de l’amont vers l’aval. Il présente un système hydrologique très complexe avec des conséquences directes sur la disponibilité en eau (Djihouessi et al., 2019). Au regard de l’importance du Delta de l’Ouémé et de la place primordiale que représente l’eau dans ce bassin, il est donc évident que tout changement dans l’évolution des pluies aura de sérieux impacts sur les activités socio-économiques de la population de ce milieu. C’est dans ce contexte que cette étude se propose de décrire l’évolution du climat (précisément l’évolution de la précipitation sur tout le bassin de l’Ouémé y compris dans le Delta) et de renseigner ses probables répercussions sur les ressources en eau dans la zone deltaïque qui est en aval du bassin de l’Ouémé.

METHODOLOGIE

Milieu d’étude

La présente étude est réalisée sur le bassin de l’Ouémé et sa partie sud appelée delta de l’Ouémé. Le fleuve Ouémé est le principal cours d’eau de ce bassin. Il prend sa source dans l’Atacora (nord du bassin) et coule en direction du Sud. Quant au delta de l’Ouémé, il collecte la majorité des eaux de pluie tombées sur le bassin de l’Ouémé en transitant par la station hydrométrique de Bonou (voir figure 1). Elle présente de faible niveau d’altitude (nul par endroit) comparativement au Nord plus élevé (600 m). Le climat du bassin est de type tropical humide avec sa partie sud moyennement plus arrosée (BODJRENOU *et al*, 2021).

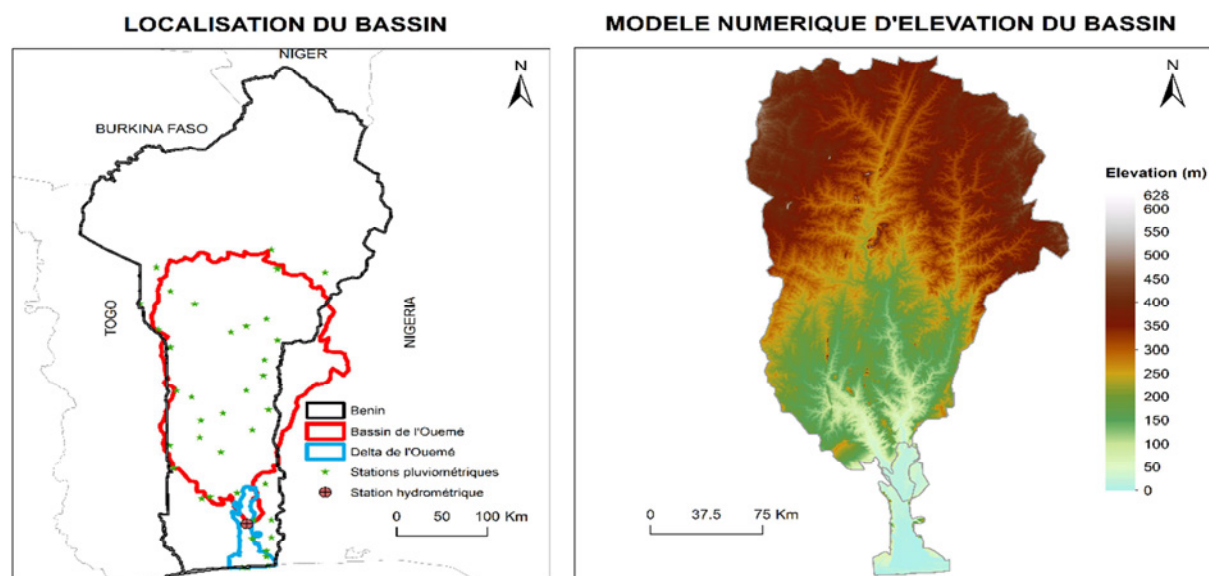


Figure 1 : Milieu d’étude

Données

Deux catégories de données ont été utilisées. Il s’agit des hauteurs de pluies journalières, issues de trente-deux (32) stations pluviométriques situées à l’intérieur et à proximité du bassin de l’Ouémé et onze (11) stations pluviométriques sur le delta de l’Ouémé. Lesdites données proviennent de l’agence Météo-Bénin et couvrent la période de 1960 à 2016. Parallèlement, les données de débit journalier collectées sur la station de Bonou ont été recueillies auprès de la Direction Générale de l’Eau (DGEau) du Bénin sur la même période.

Analyse des données

Les tests de Mann Kendall modifié et de Pettitt ont été utilisés pour déterminer respectivement les tendances et les points de rupture dans les différentes séries de données. Les descriptions et hypothèses qui sont associées à ces tests sont décrits comme suit :

➤ Test de Mann Kendall modifié

Le test de Mann-Kendall dont les détails sont présentés dans l'article de Yue & Wang (2004) est un test statistique non-paramétrique pour détecter la présence d'une tendance linéaire (à la hausse ou à la baisse) au sein d'une série chronologique en absence de toute saisonnalité ou autres cycles.

Les hypothèses associées à ce test sont :

H_0 : l'hypothèse nulle indique l'absence d'une tendance et

H_a : l'hypothèse alternative indique la présence d'une tendance dans la série

➤ Test de Pettitt

Le test non paramétrique de Pettitt (1979) est efficace pour détecter les ruptures dans les séries. Dérivé de celui de Mann Whitney, ce test examine l'existence d'une rupture à un point inconnu. Les hypothèses associées au test de Pettitt sont : l'hypothèse nulle H_0 (absence de rupture) et l'hypothèse alternative H_1 (présence de rupture) (voir Pettitt (1979) pour plus de détails).

RESULTATS

Evolution des précipitations

La figure 2 présente l'évolution interannuelle et la tendance des précipitations sur le bassin et le Delta de l'Ouémé. De l'analyse de cette figure, il ressort que la précipitation connaît une diminution de -1,45 mm/an sur le bassin de l'Ouémé contre -2,51 mm/an sur le delta de l'Ouémé. Les résultats du test de Mann-Kendall et de Pettitt témoignent respectivement une absence de tendance et de rupture significative au seuil de 5% dans ces deux zones. Par ailleurs, la variabilité interannuelle est plus prononcée dans le delta comparativement au bassin de l'Ouémé. Le delta de l'Ouémé enregistre une reprise des précipitations pendant que celle de l'Ouémé continue de chuter au cours des années récentes. Les plus fortes précipitations dans les deux zones sont enregistrées au cours de la première décennie de la période d'étude (1960) avec une moyenne de 1275,4 mm pour le bassin de l'Ouémé et 1471,4 mm pour le delta de l'Ouémé.

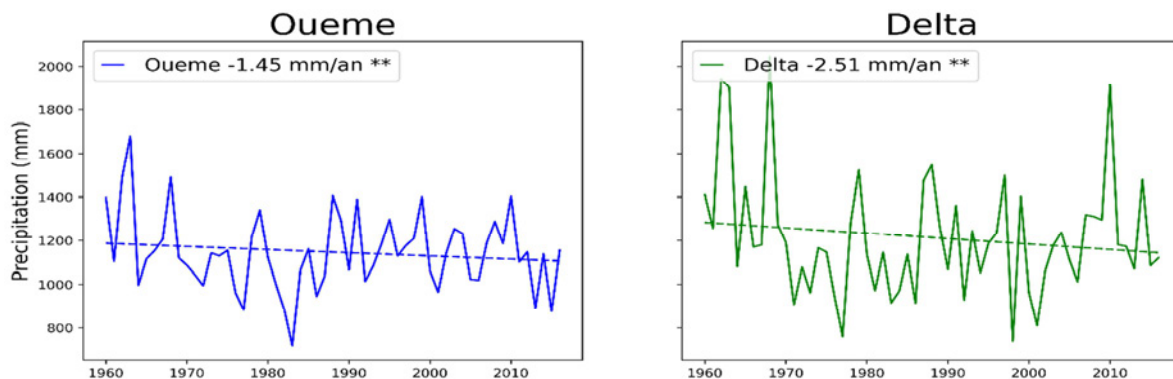


Figure 2 : Evolution interannuelle des précipitations dans l'Ouémé et dans le delta de l'Ouémé

La figure 3 présente le cycle annuel moyen et la variabilité spatiale des précipitations sur le bassin de l'Ouémé comparativement au Delta. Il s'observe que le cycle annuel moyen du delta présente un régime de précipitation bimodal pendant que celui de l'Ouémé est unimodal. Plus précisément, on note deux saisons pluvieuses, une grande de Avril à mi-Juillet et une petite de Septembre à mi-October qui se distinguent du cycle annuel moyen du bassin de l'Ouémé qui ne présente qu'une seule saison de pluie allant du mois de Mai à Septembre. Les mois de Juin et de Septembre enregistrent les pics hauts de précipitations respectivement pour le Delta et l'Ouémé. Entre ces mois, on note un pic bas en Août avec des précipitations inférieures à 50 mm sur certaines stations dans le Delta. Par contre, ce mois est le cœur de la saison pluvieuse sur le bassin de l'Ouémé.

La figure 4 présente le détail des tendances de précipitation pour chaque mois sur le bassin de l'Ouémé et sur le delta de l'Ouémé. L'analyse de cette figure témoigne que le Delta de l'Ouémé présente des tendances similaires aux tendances sur le bassin de l'Ouémé à l'exception des mois de Janvier et Août où se remarquent des tendances opposées. La plus forte tendance positive et négative est remarquée respectivement dans le mois de Septembre et Juin sur le delta de l'Ouémé. Le bassin de l'Ouémé présente non seulement des tendances plus faibles que le Delta de l'Ouémé ; mais aussi significatives dans tous les mois à l'exception du mois de Juin. Ce

dernier est le mois le plus exposé aux catastrophes d'inondation à cause de la forte variabilité interannuelle de précipitations qu'il présente. Le test de Pettitt témoigne une absence de rupture dans tous les mois à l'exception de Juin pour les deux zones.

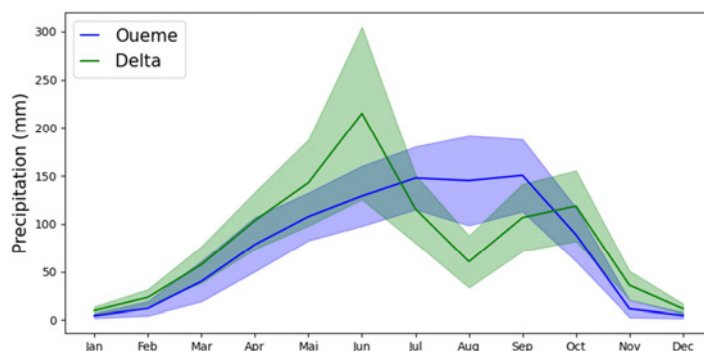


Figure 3 : Evolution du cycle annuel moyen sur l'Ouémé et sur le delta de l'Ouémé (1960-2016).

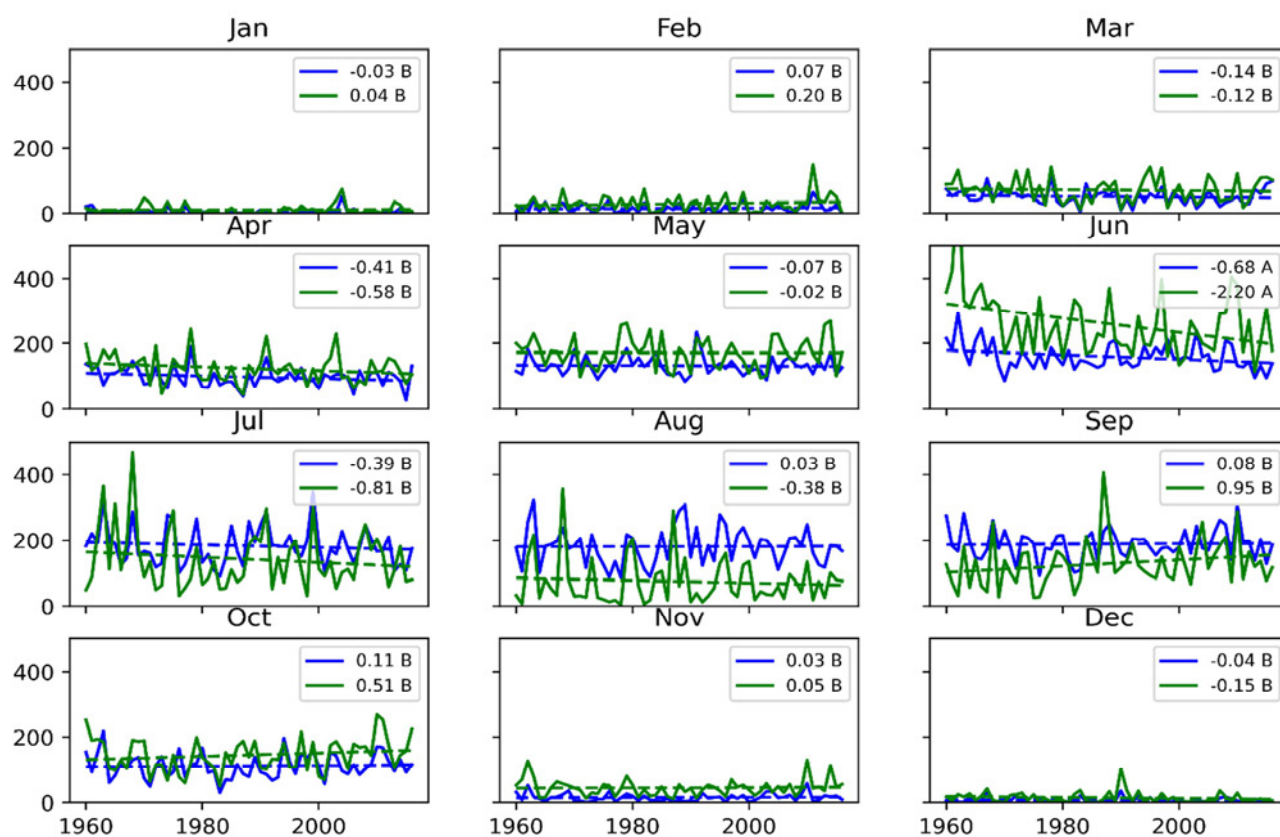


Figure 4 : Tendances des précipitations pour chaque mois. Le bleu présente la variabilité sur le bassin de l'Ouémé et le vert la variabilité sur le delta de l'Ouémé. Les chiffres présentent la valeur des tendances en mm/an et les lettres indiquent la significativité (B) ou non (A) de la tendance au seuil de 5%.

Evolution du débit à l'exutoire de Bonou

La figure 5 présente l'évolution interannuelle du débit de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou ainsi que la tendance de cette évolution. D'autre part, elle présente l'évolution du cycle annuel moyen du débit de ce bassin au même exutoire. De l'analyse de cette figure, il ressort que le débit de l'Ouémé connaît une grande variabilité interannuelle avec la première décennie de l'étude qui enregistre moyennement plus de ruissèlement annuel (263.7 m³/s). Les pics les plus remarquables sur ces deux dernières décennies sont ceux de 2003 (282.4 m³/s),

2008 (273.18 m³/s), 2010 (249.68 m³/s) et 2012 (286.9 m³/s). La tendance témoigne une évolution annuelle à la baisse de -0.5 m³/s, correspondant à une diminution de 1,75mm de la hauteur moyenne annuelle d'eau sur le delta de l'Ouémé.

De l'analyse du cycle annuel moyen du débit, il ressort que le bassin de l'Ouémé est plus exposé aux forts ruissellements dans les mois d'Août, Septembre et Octobre courant lesquels on note respectivement des débits de 416.0, 655.4 et 562.6 m³/s en moyenne à l'exutoire de Bonou.

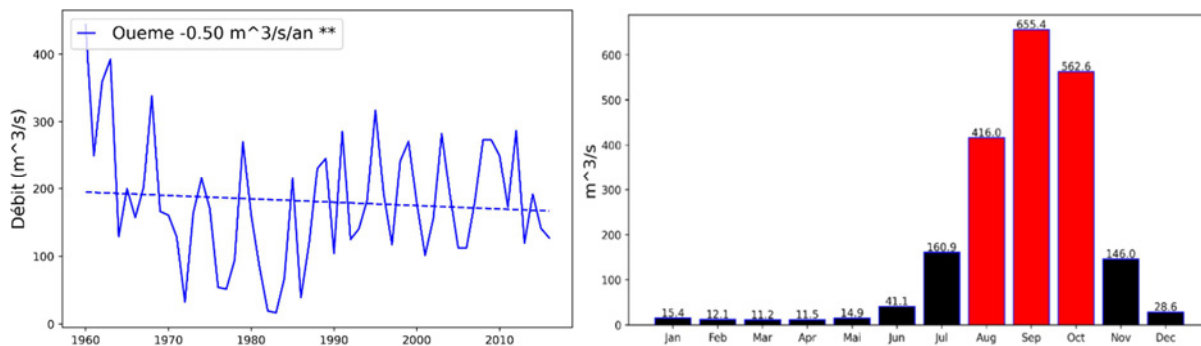


Figure 5: Evolution interannuelle du débit à Bonou entre 1960 et 2016 (à gauche), et l'évolution du cycle annuelle moyen du débit à l'exutoire de Bonou (à droite). Les barres en rouge sont celles des débits significativement supérieurs à la moyenne sur le bassin.

Relation pluie-débit sur le bassin de l'Ouémé

La figure 6 présente la relation entre la hauteur de pluie tombée sur le bassin de l'Ouémé et le débit enregistré à l'exutoire de Bonou avant et après trente ans (1990). Il ressort de l'analyse de cette figure que la période pluvieuse n'est pas totalement en phase avec celle du débit, bien que les deux pics soient très rapprochés (début Septembre et fin Septembre pour respectivement la pluie et le débit). On note un début d'écoulement de l'eau à l'exutoire de Bonou pratiquement à zéro jusqu'au mois de Mai au moment où s'enregistre déjà des précipitations allant à 300mm dans le bassin. Par ailleurs, simultanément au déclin de la pluie à partir du mois d'Octobre, on note encore des écoulements jusqu'en Novembre voire Décembre dans le bassin. La corrélation entre écoulement et la pluie est de 0.51 entre 1960-1989 contre 0.53 entre 1990-2016. Même en saison pluvieuse, elle est plus faible dans l'ancienne période (0.24) comparativement à la période récente (0.29), probablement liée à la régression des zones forestières (non abordé dans cet article).

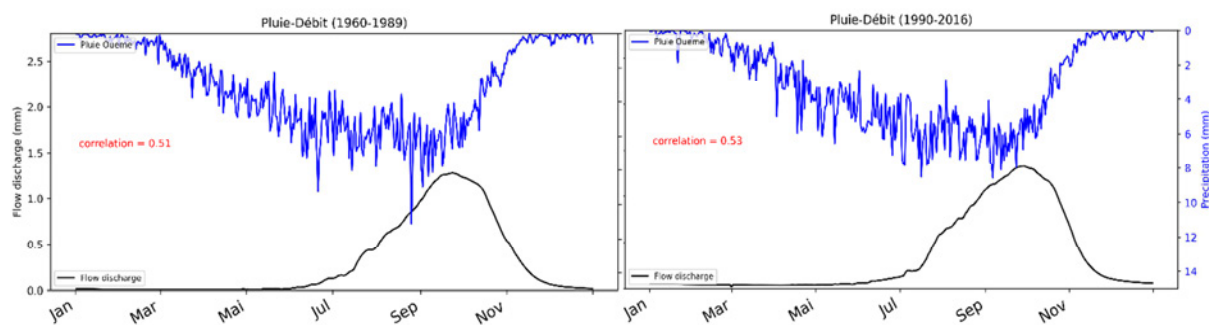


Figure 6 : Relation pluie-débit sur le bassin de l'Ouémé, le débit journalier en noir et la précipitation journalière en bleu

CONCLUSION

La présente étude est une contribution à la détermination de la variabilité pluviométrique sur le bassin de l'Ouémé et ses impacts sur la disponibilité de l'eau dans le delta de l'Ouémé. Le Delta est caractérisé par deux saisons pluvieuses, une grande et une petite qui coïncide avec la saison pluvieuse unimodale du Nord. Sa petite saison sèche correspond au pic de saison pluvieuse sur le bassin de l'Ouémé. Il se dégage que le bassin de l'Ouémé se caractérise par une évolution à la baisse des précipitations, mais moindre que la baisse de précipitation sur le Delta. L'écoulement à l'exutoire de Bonou est très dépendant de la pluie et la baisse de cette

dernière a des probables conséquences sur la disponibilité de l'eau dans la zone deltaïque. Plusieurs autres facteurs comme les labours profonds sur le bassin, le reboisement, etc. peuvent par exemple favoriser l'infiltration au détriment de l'écoulement. Il est donc important de rechercher tous les termes du bilan hydrologique affectés par cette variabilité du débit, et les conséquences réelles de la faible alimentation de l'eau sur le delta de l'Ouémé. Par ailleurs, les mesures d'adaptation visant une gestion rationnelle et durable des ressources en eau peuvent être recherchées et mises à la disposition des acteurs et décideurs pour maintenir les secteurs viables. Pour finir, signalons que cette étude ne renseigne pas sur la quantité d'eau superficielle ni souterraine dans le delta de l'Ouémé. Elle n'est qu'une base pour plus d'étude complète sur la disponibilité en eau dans la zone deltaïque.

REFERENCES

- AAWAR, T., & KHARE, D. (2020). Assessment of climate change impacts on streamflow through hydrological model using SWAT model: a case study of Afghanistan. *Modeling Earth Systems and Environment*, **6** (3) : 1427–1437. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00759-0>
- BODIAN, A., DEZETTER, A., & DACOSTA, H. (2012). Apport de la modélisation pluie-débit pour la connaissance de la ressource en eau : application au haut bassin du fleuve sénégal. *Climatologie*, **9** :109–125.
- DJIHOUESSI, M. B. & AINA, M. P.: A review of habitat and biodiversity research in Lake Nokoué, Benin Republic: Current state of knowledge and prospects for further research, *Ecohydrology & Hydrobiology*, **19** (1) : 131–145, doi:10.1016/j.ecohyd.2018.04.003, 2019.
- FAO. (2015). AQUASTAT Profil de Pays - Bénin. In Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, Italie (p. 20). www.fao.org/publications
- GABIRI G., DIEKKRÜGER B., NÄSCHEN K., LEEMHUIS C., VAN DER L.R., MWANJALOLO M.J. G., & OBANDO, J. A. (2020). Impact of Climate and Land Use on the Water Resources of a Tropical Inland Valley. *Climate*, **83** (8) : 1–25.
- GIEC. (2007). Changements Climatiques 2007 Rapport de synthèse
- KODJA, D. J., MAHE, G., VISSIN, E. W., AMOUSSOU, E., PATUREL, J.-E., HOUNDENOU, C., & BOKO, M. (2017). Étude des indices de débits journaliers extrêmes à l'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou. XXXe colloque de l'association internationale de climatologie. *Climat, Ville et Environnement* : 451–456.
- LAWIN, A. E., HOUNGUÈ, N. R., BIAOU, C. A., & BADOU, D. F. (2019). Statistical analysis of recent and future rainfall and temperature variability in the Mono River watershed (Benin, Togo). *Climate*, **7**(1).
- NICHOLSON, S. E., FUNK, C., & FINK, A. H. (2018). Rainfall over the African continent from the 19th through the 21st century. *Global and Planetary Change*, **165**: 114–127.
- PETTITT, A. N. (1979). A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, **28** (2) : 126–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2346729>
- SANOGO, S., FINK, A. H., OMOTOSHO, J. A., BA, A., REDL, R., & ERMERT, V. (2015). Spatio-temporal characteristics of the recent rainfall recovery in West Africa. *International Journal of Climatology*, **35** (15) : 4589–4605.
- VISSIN, E. W., & SINTONDI, L. O. C. (2011). Changement climatique et vulnérabilité des ressources en eau dans le bassin du zou à atcherigbe. *Revue de géographie du lardymes, Université de Lomé*, 1993–3134, 123–131.
- YUE, S., & WANG, C. (2004). The Mann-Kendall Test Modified by Effective Sample Size to Detect Trend in Serially Correlated Hydrological Series. *Water Resources Management*, **18** (3) : 201–218.