

Disponibilité de la ressource en eau et variabilité climatique dans la basse vallée de l'Ouémé, au sud Bénin (Afrique de l'Ouest)

[Availability of water resources and climatic variability in the lower valley of Oueme, south Benin (West Africa)]

Fêmi COCKER¹, Jean-Bosco K. VODOUNOU², René ZODEKON³, and Jacob A. YABI⁴

¹Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau,
Université de Parakou, 02BP 1537 Porto-Novo, Benin

²Département de Géographie,
Université de Parakou, BP 123 Parakou, Benin

³Département de Géographie,
Université d'Abomey-Calavi, BP : 57 Dassa-Zounmé, Benin

⁴Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau,
Université de Parakou, BP 123 Parakou, Benin

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: One of today's key research challenges is now to provide and anticipate climatic changes so that we can respond and adapt to these future developments. Global reheating of the earth and weather forecasts are a growing risk of climatic changes that are not without consequences on the ecosystems whose the watershed of Oueme. The objective of this study is to analyze the availability of water resources with the climatic variability in the lower Oueme valley in south of Benin.

The data and methods used are rainfall, ETP, planimetric data, land use extracted from Landsat 8 OLI / TIRS 2016, ArcGIS 10.1 software for mapping, Khronostat 1.01 for detection of ruptures and field observations, etc. This information after treatment helped to determine the physiognomy of the climate in the lower Oueme valley.

The results obtained show an unequal distribution of rainfall marked by the continuous changes of the natural conditions of the basin. The study identifies three phases in the evolution of rainfall. The first 1987-1990 is marked by rainfall surpluses. The second is characterized by rainfall deficits between the period 1990-2006 and the last one characterized by a very strong instability in the evolution of the rainfall, concerns the period 2006-2016. The application of Pettitt test to this chronologic series revealed a break in stationarity at the 95% threshold, thus highlighting two sub-periods, 1987-2006 and 2007 -2016. This rainfall decrease anchor decrease of superficial flow between 0,2% and 1% in the lower Oueme valley.

KEYWORDS: Water resources, availability, climatic changes, lower Oueme valley.

RÉSUMÉ: L'un des enjeux actuels pour la recherche est de prévoir et d'anticiper la poursuite des changements climatiques afin de pouvoir réagir et s'adapter à ces évolutions futures. Les réchauffements globaux de la terre et les prévisions météorologiques relèvent un risque croissant des manifestations des changements climatiques qui ne sont pas sans conséquences sur les écosystèmes dont le bassin versant de l'Ouémé. L'objectif de cette étude est d'analyser la disponibilité des ressources en eau face à la variabilité climatique dans la basse vallée de l'Ouémé au sud du Bénin.

Les données et méthodes utilisées sont les précipitations, l'ETP, les images Landsat 8 OLI/TIRS 2016, les logiciels ArcGIS 10.1 pour la cartographie, Chronostat 1.01 pour la détection des ruptures, les observations de terrain, etc. Ces informations après traitements ont aidées à déterminer la physionomie du climat dans la basse vallée de l'Ouémé.

Les résultats obtenus montrent une inégale répartition des précipitations marquée par les changements continus des conditions naturelles du bassin. L'étude identifie trois phases dans l'évolution de la pluviométrie. La première 1987-1990 est marquée par des excédents pluviométriques. La seconde est caractérisée par des déficits pluviométriques entre la période 1990-2006 et la dernière caractérisée par une très forte instabilité dans l'évolution de la pluviométrie, concerne la période 2006-2016. L'application du test de Pettitt à cette série chronologique a mis en évidence une rupture de stationnarité au seuil de 95 % mettant ainsi en exergue deux sous périodes, 1987-2006 et 2007 -2016. Cette baisse pluviométrique induit une baisse de l'écoulement superficiel dont les valeurs oscillent entre 0,2 et 1% dans la vallée de l'Ouémé.

MOTS-CLEFS: Ressources en eau, disponibilité, changements climatiques, basse vallée de l'Ouémé.

1 INTRODUCTION

L'importance de l'eau pour la vie sur terre et pour les activités de l'homme en général fait que scientifiques et gestionnaires s'inquiètent désormais des conséquences des changements du climat sur le cycle hydrologique, la disponibilité et la qualité de la ressource en eau. Actuellement, les changements climatiques sont au centre des préoccupations aussi bien des acteurs scientifiques que des décideurs politiques au niveau mondial [1], car ils sont considérés de nos jours comme l'une des menaces les plus graves posées au développement durable [2]. Dans ce cadre, les études de [3] prouvent déjà que des perturbations dans la fréquence et les quantités de précipitations et des changements de températures pourraient entraîner des effets considérables sur les apports d'eau dans les bassins versants. Les événements extrêmes liés à l'eau (crues, sécheresses) seront encore plus marqués[4]. Cet impact est particulièrement important dans les pays en développement où les techniques de mobilisation de la ressource ne sont pas encore diversifiées ou parfois restent à l'étape embryonnaire. En Afrique de l'Ouest et au Bénin en particulier, les grands fleuves comme le fleuve Ouémé, subissent une forte pression démographique liée à leur situation en zones humides [2].

Petit pays côtier de l'Afrique de l'ouest, le Bénin, n'échappe pas à ces changements climatiques et à leurs effets socio-environnementaux [5], [6]. Les variabilités climatiques et leurs conséquences socio-environnementales sont encore plus perceptibles à l'échelle locale [7], [8], [9]. Plusieurs études ont été réalisées dans le bassin de l'Ouémé [10], [11], [12], [13], [14]. Celle-ci vise une meilleure connaissance des effets potentiels de l'évolution du climat sur la disponibilité des ressources en eau dans la vallée de l'Ouémé.

La basse vallée de l'Ouémé est une plaine d'inondation localisée au Sud-Est du Bénin. Elle est comprise entre 2°22'7"et 2°30'41"de longitude Est et entre 6°24'5"et 6°58'1" de latitude Nord. Limitée au Sud par le lac Nokoué et la lagune de Porto-Novo ; ses limites sont imprécises au Nord, à l'Est et à l'Ouest, car elles varient énormément avec l'importance des crues. De ce fait, sa superficie peut donc varier de 1000 à 9000 km² selon le moment où les observations ont été faites [15].

La basse vallée de l'Ouémé couvre les communes de Bonou, d'Adjohoun, de Dangbo, de Sô-Ava et des Aguégus [16] comme l'indique la figure 1. Elle est couramment divisée en trois zones à savoir :

- Le haut delta : c'est la limite Nord du delta ; il s'étend au-delà de Bonou.
- Le moyen delta : c'est une longue plaine de 50 km qui va de Bonou à Azowlissè dans la Commune d'Adjohoun.
- Le bas delta : il va de l'aval d'Azowlissè où la vallée s'élargit jusqu'à 20 km à la façade Sud où le fleuve se jette dans le complexe lagunaire formé du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo [17].

La basse vallée de l'Ouémé comprend deux unités géomorphologiques: une plaine d'inondation logée à l'intérieur d'une cuvette, et un plateau du continental terminal surplombant la plaine d'inondation. Cette plaine inondable appelée « *Wodji* » est drainée par le fleuve Ouémé et ses affluents. Le plateau appelé« *Aguédji* » présente des fortes ondulations notamment dans les communes de Bonou et d'Adjohoun. C'est une formation latéritique très perméable. Les eaux d'infiltration réapparaissent en de nombreuses sources au pied du plateau. Ces résurgences donnent naissance à des marécages permanents dont certains ne s'assèchent pas au cours de l'année [16]. Tous ces phénomènes sont en lien étroit avec la variabilité climatique étudiée dans la basse vallée de l'Ouémé.

Dans la basse vallée de l'Ouémé, on rencontre les sols ferrallitiques localisés sur les plateaux et les sols hydromorphes dans la plaine inondable qui représentent la principale formation pédologique du milieu. La basse vallée se caractérise par une

couverture végétale très diversifiée [18]. Le réseau hydrographique de l’Ouémé inférieur est constitué de deux axes parallèles, la rivière Sô et le fleuve Ouémé. Cet ensemble forme le Delta de l’Ouémé. La Sô et l’Ouémé se jettent dans le lac Nokoué respectivement aux environs de Ganvié et à l’Ouest de Porto-Novo.

La remontée du fleuve Ouémé et du lac Nokoué provoque de graves inondations surtout dans ce secteur d’étude où le système de canalisation des eaux est encore embryonnaire. De plus, les systèmes écologiques naturels de par leur dynamique rendent les populations vulnérables du point de vue économique et sanitaire. En effet, l’Ouémé est le principal cours d’eau qui définit la physionomie du bassin. C’est un cours d’eau, dont le régime hydrologique est marqué par des variations notables au cours de l’année. La référence [19] montre que l’inondation dans le bassin a lieu en général de fin août à mi-octobre, mais peut survenir dès juillet et se terminer au début novembre, comme c’est le cas en 2017 année de conduite de la présente étude (observation de terrain). Les hauteurs et débits varient de façon considérable au cours d’une même année. Lorsque des pluies précoces dans le nord Bénin coïncident avec une grande saison des pluies abondantes dans le sud, il arrive que le delta soit noyé dès juin, ce qui cause de graves dégâts aux exploitations. Par contre en année très sèche, il peut ne pas se produire de crue du tout [19], [20], [21], [22].

Le nombre important de plans d’eau dans la vallée constitue également un élément fondamental dans la manifestation des inondations en ce sens que l’eau qui s’y écoule sature les sols et diminue leur capacité d’infiltration. Les figures 1 et 2 présentent respectivement la situation géographique et le réseau hydrographique de la basse vallée de l’Ouémé.

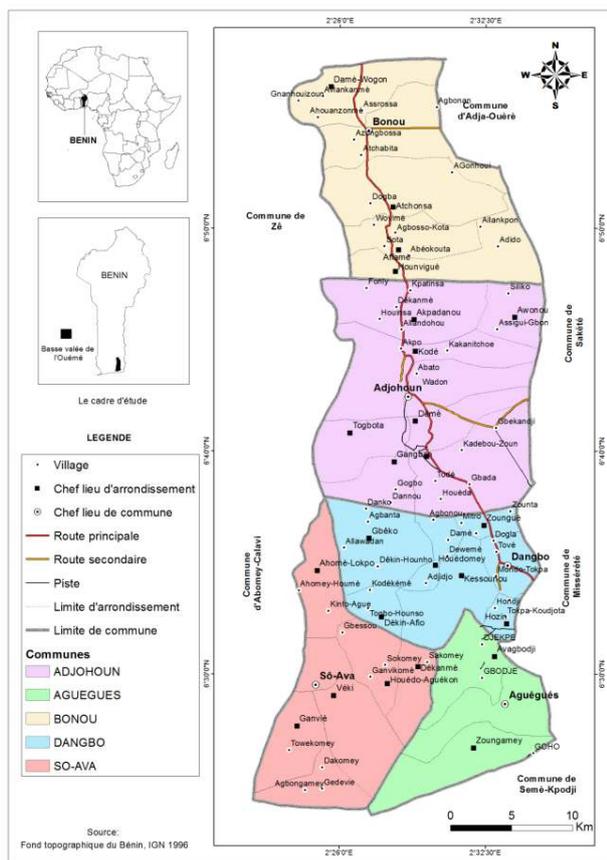


Fig. 1. Carte de situation de la basse vallée de l’Ouémé

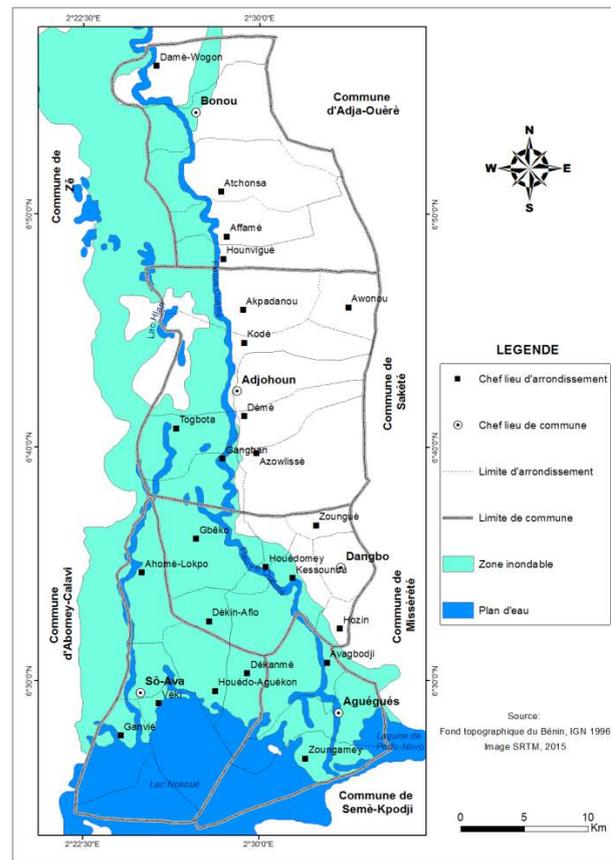


Fig. 2. Réseau hydrographique de la basse vallée de l’Ouémé

2 MATERIELS ET METHODES

Afin de mettre en évidence la variabilité climatique dans la basse vallée de l’Ouémé, des données ont été collectées et analysées sur le climat. Les données utilisées dans le cadre de cette étude concernent en priorité les chroniques climatologiques, les données piézométriques et les données d’observations de terrain. Les méthodes d’étude de la variabilité pluviométrique à travers les paramètres de tendance centrale, de dispersion et l’indice standardisé des précipitations ont été

utilisées pour traiter et organiser les données climatiques obtenues. La documentation a permis de faire le point des connaissances et concepts relatifs au thème.

Les données climatologiques utilisées ont été recueillies à l’Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) de Cotonou. Ces données (pluviométrie, températures, humidité relative et débits) à l’échelle mensuelle et interannuelle proviennent des stations et postes pluviométriques installés à l’intérieur ou à proximité de la basse vallée de l’Ouémé.

Tableau 1. Stations météorologiques du secteur d’étude

| Stations | Latitude (Nord) | Longitude (Est) | Altitude (m) | Type de stations |
|------------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|
| Adjohoun | 6°25’00’’ | 2°13’34’’ | 09,1 | Pluviométrique |
| Bonou | 7°33’33’’ | 2°50’00’’ | 10 | Pluviométrique |
| Porto-Novo | 6°48’33’’ | 3°02’06’’ | 20 | Pluviométrique |
| Cotonou | 6°01’25’’ | 2°06’53’’ | 10 | Synoptique |

Source: ASECNA, 2017

2.1 CRITIQUES ET COMPLEMENT DES DONNÉES

L’inventaire des données pluviométriques a révélé qu’elles comportent des lacunes d’observation. Le comblement de celles-ci vise à disposer de séries continues les plus longues possibles pour les différentes analyses.

Les données manquantes ont été reconstituées par la méthode des moindres carrés [23], [24]. Cette méthode est basée sur le calcul de régression multiple entre les séries lacunaires et les séries complètes des stations ou postes situées dans un environnement géographique semblable et proche. La méthode consiste à considérer comme première variable explicative celle dont le coefficient de corrélation avec la variable à expliquer est le plus élevé [24]. Il faut introduire chaque fois la variable qui fait le plus augmenter la valeur du coefficient de corrélation (R) afin d’obtenir une variance R² élevée pour un minimum de variables explicatives. L’interpolation des données a été faite séparément pour les différents mois afin de prendre en compte la variation saisonnière des processus climatiques.

Le calcul de la régression pour la période 1987-2016 a permis de combler 5,8 % de données. Cet exercice a entraîné la suppression de certaines données douteuses. Ce contrôle a permis d’éliminer les valeurs manifestement fausses, ce qui a amélioré de façon significative la justesse des données conservées qui ont servi au calcul des paramètres statistiques.

2.2 PARAMÈTRES DE TENDANCE CENTRALE

La moyenne arithmétique est l’outil statistique le plus fréquemment utilisé dans les études de climatologie [23]. Dans cette étude, elle a été calculée sur une série de 30 ans, et elle demeure représentative du climat sur une longue période. Elle s’obtient en faisant la somme des valeurs distinctes qui ont été observées, chacune d’elles étant affectée d’un poids égal à sa fréquence. Elle s’exprime de la façon suivante :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Avec } n \text{ le nombre d'observations})$$

La moyenne \bar{X} a permis d’identifier les différents rythmes pluviométriques, les champs moyens et de caractériser l’évolution de la pluviométrie. Les paramètres de tendance centrale aident à déterminer les paramètres de dispersion.

2.3 PARAMÈTRES DE DISPERSION

Les paramètres de dispersion sont calculés à partir du paramètre fondamental de tendance centrale qu’est la moyenne. Ces paramètres de dispersion sont l’écart-type et le coefficient de variation. Le coefficient de variation est le moyen le plus utilisé pour tester et quantifier la variabilité d’une réalité ou d’un phénomène statistique. C’est le rapport de l’écart-type à la moyenne, exprimé en pourcentage [24], [25]. Le coefficient de variation permet d’établir la comparaison des degrés de variabilité de la pluviosité dans l’espace. L’écart type est utilisé pour évaluer la dispersion absolue des valeurs autour de la valeur centrale. Toutefois, les paramètres de dispersion ne suffisent pas à eux seuls pour mesurer la variabilité car ils ne

décrivent pas l'évolution temporelle des séries pluviométriques et hydrométriques [25]. Ainsi, pour mieux caractériser la variabilité l'usage de l'indice standardisé des précipitations est nécessaire.

2.4 INDICE STANDARDISÉ DES PRÉCIPITATIONS OU (SPI)

A partir de l'écart type, l'indice standardisé des précipitations ou *Standardized Precipitations Index* (SPI) représentant les anomalies centrées réduites pluviométriques interannuelles, a été calculé [26]. Les anomalies se calculent par la formule suivante:

$$SPI_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma(x)}$$

SPI = indice standardisé des précipitations / anomalie centrée réduite pour l'année *i*

\bar{X} = moyenne de la série

$\sigma(x)$ = écart-type de la série

Le tableau ci-après présente les différentes classes de la sécheresse en fonction du SPI.

Tableau 2. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur du SPI

| Classes du SPI | Proportion de sécheresse / humidité |
|----------------|-------------------------------------|
| SPI > 2 | Humidité extrême |
| 1 < SPI < 2 | Humidité forte |
| 0 < SPI < 1 | Humidité modérée |
| -1 < SPI < 0 | Sécheresse modérée |
| -2 < SPI < -1 | Sécheresse forte |
| SPI < -2 | Sécheresse extrême |

Source: D'après[26]

L'indice standardisé des précipitations a été retenu pour déterminer les indicateurs des variations pluviométriques et spécifiquement les années marquées par un excédent ou un déficit pluviométrique dans le secteur d'étude.

2.5 DÉTECTION DES RUPTURES

La détection des ruptures de stationnarité dans la série pluviométrique (1987-2016) a été faite à l'aide du logiciel Khronostat 1.01, à travers le test de Pettitt qui est un test non paramétrique dérivant de celui de Mann-Whitney. Ce test, par sa robustesse à détecter une rupture dans les séries chronologiques a été utilisé pour l'étude des fluctuations de variables hydrométéorologiques [27],[28]. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,n}$, définie par :

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

Soit K_N la variable définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,n}$ pour t variant de n à $n-1$, si K_{max} désigne la valeur de K_n prise pour la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur K_{max} est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(K_n > K_{max}) = 2 \exp\left(\frac{-6(K_{max})^2}{n^3 + n^2}\right)$$

Pour un risque donné de première espèce, si la probabilité $\text{Prob}(K_N > K_{max})$ est influencée à α , l'hypothèse nulle est rejetée. Ces diverses méthodes ont facilité le traitement des données ayant débouché sur des interprétations et analyses qui ont conduit aux résultats de l'étude.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 VARIABILITE INTERANNUELLE DES PRÉCIPITATIONS DANS LA BASSE VALLÉE DE L’OUEME

L’étude de la physionomie du climat dans la basse vallée a été effectuée en fonction des modifications notées sur la série considérée notamment celle qui couvre la période allant de 1987 à 2016 pour mieux mettre en évidence la variabilité climatique dans le bassin.

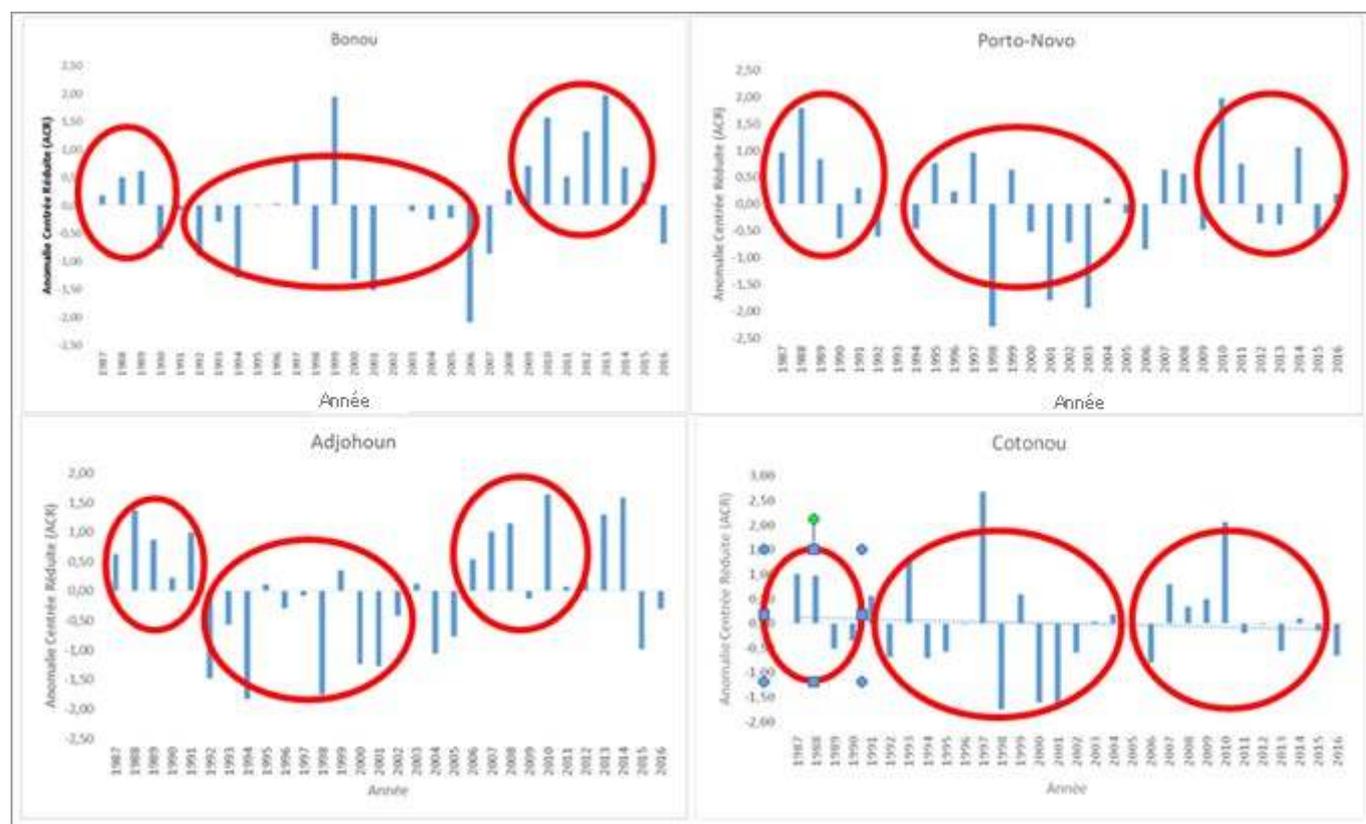


Fig. 3. Variabilité interannuelle des pluies dans la basse vallée de l’Ouémé (1987 -2016)

L’analyse de la figure 3 a permis d’observer un non stationnarité de l’évolution pluviométrique de 1987 à 2016. Trois phases ont été identifiées dans l’évolution de la pluviométrie dans la basse vallée de l’Ouémé.

La première phase est marquée par des excédents pluviométriques, et concerne la période 1987-1990 ; la deuxième sous-série est caractérisée par des déficits pluviométriques entre la période 1990-2006. La troisième phase est caractérisée par une très forte instabilité dans l’évolution de la pluviométrie et concerne la période 2006- 2016. Cette variabilité pluviométrique observée dans la basse vallée de l’Ouémé est conforme à ce qui a été observé dans la plupart des travaux sur le régime des précipitations de la sous-région de l’Afrique de l’Ouest [28], [29], [30] et particulièrement au Bénin [23], [25], [31], [32], [33], [34].

Dans la série chronologique des précipitations enregistrées à divers niveaux de la basse vallée, l’évolution des pluies n’est pas uniforme. Pour ressortir d’éventuelle rupture de stationnarité, le test de Pettitt a été appliqué.

La figure 4 présente les résultats dudit test réalisés dans le milieu d’étude.

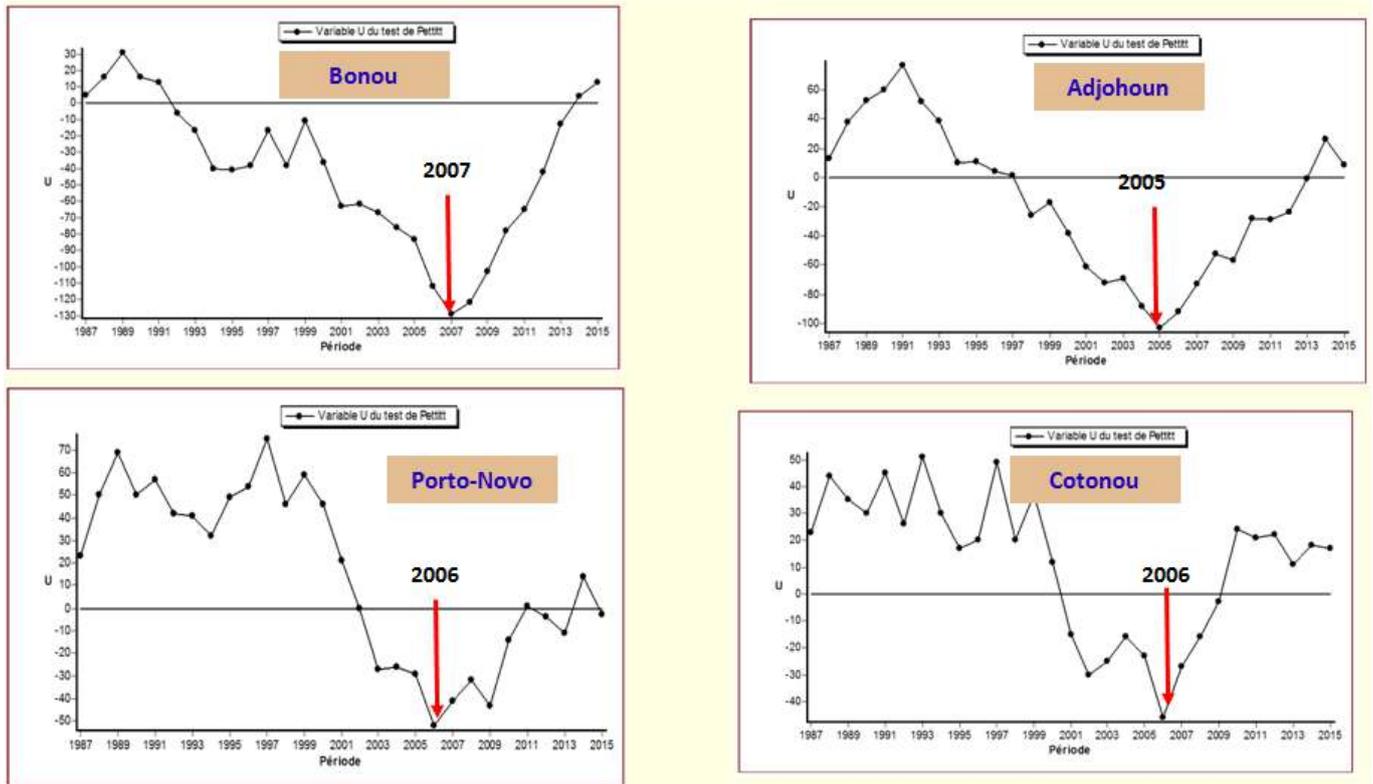


Fig. 4 Rupture de stationnarité dans l'évolution de la série pluviométrique dans la basse vallée de l'Ouémé

Il ressort qu'au seuil de significativité de 95 %, une rupture est observée pendant les années "2000". En 2006 pour les stations de Cotonou et de Porto-Novo, en 2007 pour la station de Bonou et en 2005 pour la station d'Adjohoun.

En effet, à partir de 2005 jusqu'en 2016, une relative régularité est observée dans le sens d'évolution des valeurs pour l'ensemble des stations. De même avant 2005, on note une tendance baissière dans l'évolution des données de la série. La similarité du seuil de rupture pour les stations de Cotonou et de Porto-Novo est liée probablement à leur proximité.

La présence de rupture de stationnarité dans la série pluviométrique signifie qu'il y a variation du niveau des précipitations dans le temps dans le bassin et que cette variation est très significative au seuil de 95 %.

Par ailleurs, la tendance en hausse des hauteurs de pluie dans les stations de Bonou et d'Adjohoun après les années 2000 montre que la dernière sous période dans la basse vallée de l'Ouémé est humide. Avant cette période, on remarque une baisse des précipitations depuis les années 1987. Cette tendance est similaire à celle observée par [31] dans le bassin-versant du Mono-Ahémé-Couffo au Sud-Bénin. A ce niveau, l'auteur a montré que la baisse des précipitations depuis les années 1970 s'est poursuivie en s'amplifiant au début de la décennie 1980, avec des sécheresses sensibles, surtout de 1982 à 1987. Cette fréquence des anomalies négatives entre 1987 et 2000 traduit un début de péjoration climatique.

3.2 VARIABILITE SAISONNIERE COMPAREE DES PRECIPITATIONS PAR SOUS PERIODES

L'étude comparée des deux sous-périodes identifiées à partir du test de Pettitt permet de mettre en évidence la baisse marquée des hauteurs de pluie saisonnière au niveau de la deuxième sous-période. La première sous période quant à elle, a été relativement plus humide que la seconde. La figure 5 en est une illustration.

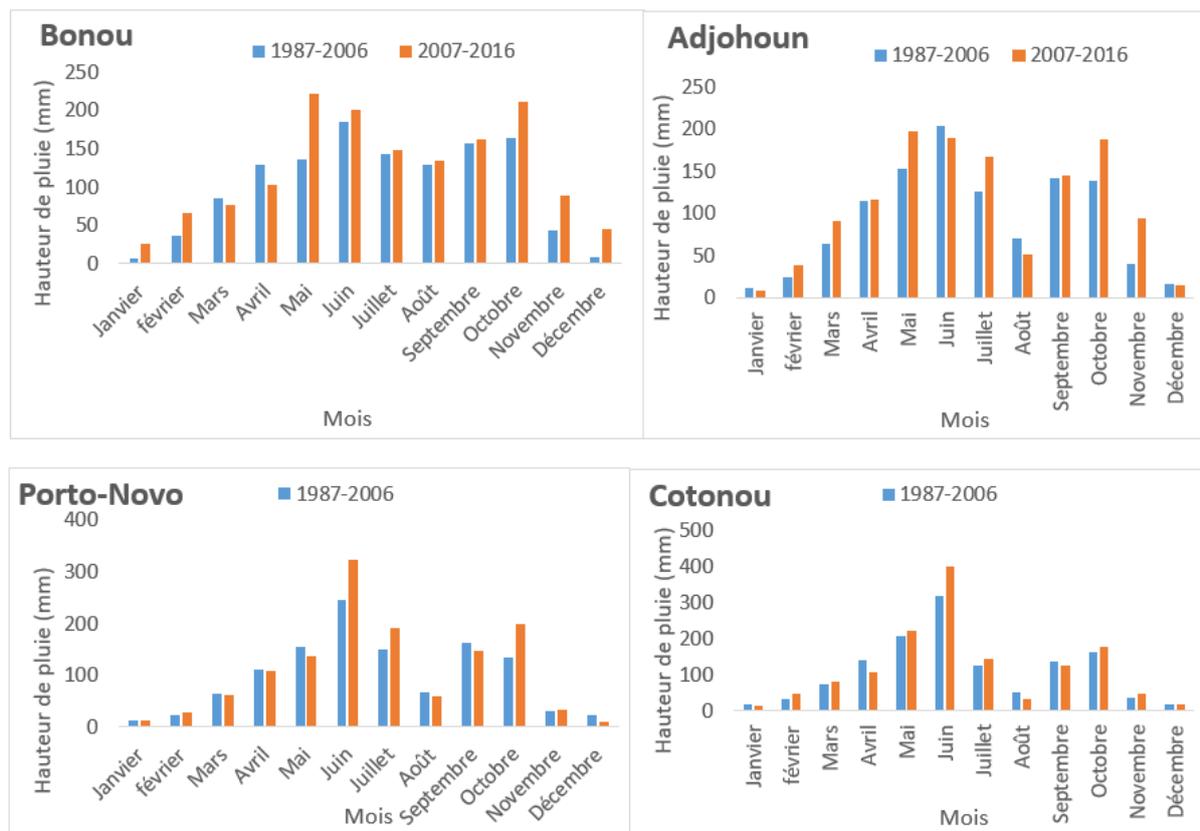


Fig. 5 : Régime pluviométrique des sous périodes 1987- 2006 et 2007 - 2016 dans la basse vallée

Il faut retenir de l’analyse de la figure 5 que le cumul des précipitations reste plus important sur la période allant de 1987 à 2006 et celle allant de 2007 à 2016. La première période est donc plus arrosée que la seconde, même sur les stations de Bonou et Adjohoun où la tendance des hauteurs de pluie sont à la hausse. Le mois le plus arrosé est le mois de juin. On remarque à la station de Bonou que les hauteurs de pluie des mois de janvier et décembre de la seconde période dépassent celles de la première période. Ceci est peut-être un signe du bouleversement de la variabilité pluviométrique dans la basse vallée de l’Ouémé. Ces résultats montrent comme ceux de plusieurs auteurs [35], [36], [32], [37] que la tendance pluviométrique est à la baisse en Afrique occidentale en général et dans La vallée de l’Ouémé en particulier.

La détermination du bilan climatique va permettre de définir les mois humides des mois secs dans la basse vallée de l’Ouémé. La figure 6 met en exergue les mois les plus humides de l’année.

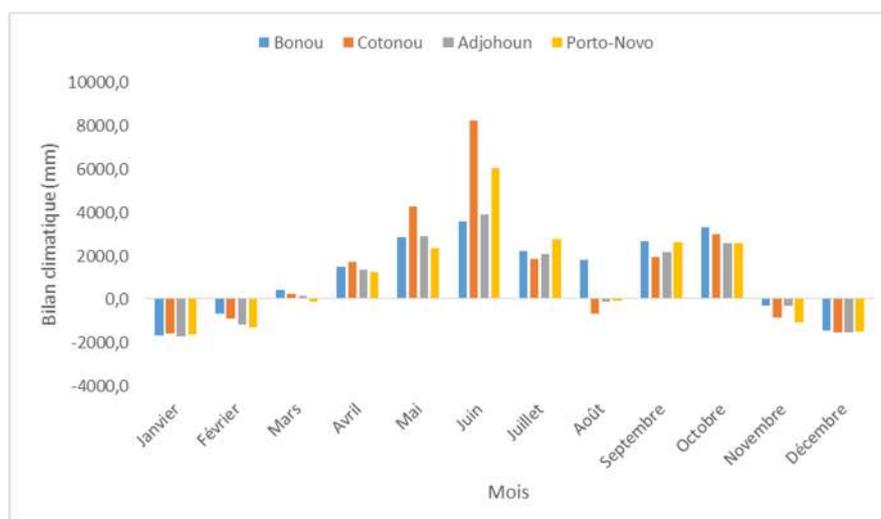


Fig. 6 : Bilan climatique mensuel dans la basse vallée de l'Ouémé

De l'analyse de cette figure, il ressort qu'au pas de temps mensuel, le bilan climatique dans la basse vallée permet d'identifier deux périodes opposées :

- Sept mois humides s'observent d'abord de mars à juillet et de septembre à octobre, avec un maximum en juin. Les rivières pendant ces mois, sont alimentées en surplus d'eau et favorisent l'alimentation des réservoirs souterrains des sous bassins versants. Cette période est aussi favorable à l'inondation causée par les fortes pluies enregistrées en juin.
- De novembre à février, ce sont les mois secs où la demande évaporatoire de l'atmosphère est très importante, avec un fort amenuisement et même l'assèchement des réserves d'eau du sol.

Le poids des hauteurs de pluie est de 85 % pour la première période et de 84 % pour la seconde période. La seconde période est donc relativement moins humide que la première. Cette situation pourrait s'expliquer d'un côté par le fait que la première période est plus longue que la deuxième, d'un autre côté par le fait que les décennies 1980 et 1990 ont été beaucoup plus déficitaires par rapport à celles de 2000 et 2010 marquées par une relative reprise pluviométrique. Néanmoins il faut remarquer que le déficit entre les deux sous-périodes n'est que de -1.25 %.

L'application du coefficient de variation aux deux séries (sous périodes) met en exergue l'hétérogénéité des données de la sous période 1987-2006 avec 70,69 % pour la première période et 73,55 % pour la seconde période. Ces deux coefficients de variations étant supérieurs à 15 % on peut déduire que les données de cette série sont hétérogènes.

Le tableau ci-après montre l'écart et le déficit des mois les plus humides entre les sous-périodes.

Tableau 3. Déficients entre les sous-périodes 1987-2006 et 2007-2016 des mois les plus humides dans la basse vallée de l'Ouémé

| | Ecart (1987-2006 et 2007-2016) | | | | Déficit % (1987-2006 et 2007-2016) | | | |
|----------|--------------------------------|---------|----------|------------|------------------------------------|---------|-----------|------------|
| | Bonou | Cotonou | Adjohoun | Porto-Novo | Bonou | Cotonou | Adjo-houn | Porto-Novo |
| M | -7,65 | 8,29 | 25,99 | -2,48 | -9,1 | 11,4 | 40,2 | -3,8 |
| A | -26,53 | -32,36 | 1,81 | -1,43 | -20,6 | -23,3 | 1,6 | -1,3 |
| M | 85,59 | 17,38 | 44,18 | -18,31 | 62,7 | 8,4 | 29,0 | -11,8 |
| J | 15,21 | 81,39 | -14,15 | 77,48 | 8,2 | 25,7 | -6,9 | 31,5 |
| J | 5,33 | 18,05 | 40,25 | 43,42 | 3,7 | 14,3 | 31,9 | 29,2 |
| S | 5,13 | -12,06 | 3,63 | -16,55 | 3,3 | -8,7 | 2,6 | -10,1 |
| O | 48,17 | 14,81 | 49,62 | 65,24 | 29,4 | 9,0 | 35,7 | 48,4 |

Source : Traitement des données de terrain, ASECNA, juin 2017

De l'examen de ce tableau, il ressort que les sept mois les plus pluvieux jouent un rôle important dans la péjoration pluviométrique dans la basse vallée. Dans l'ensemble, le déficit au cours des mois les plus humides varie de 1,3 à 23,3 %. Les déficits les plus importants sont enregistrés pendant les mois de mars à Bonou (9,1 %), d'avril à Cotonou (23,3 %), de mai à

Porto-Novo (11,8), de juin à Adjohoun (6,9) et enfin de septembre à Porto-Novo (10,1 %). La comparaison des moyennes par sous périodes des mois les plus humides révèle que la sous période 1987-2006 a été beaucoup plus humides (341,7 mm) que celle de 2007-2016 (337,5 mm) soit un écart de (4,3 mm). Les déficits pluviométriques observés entre 1987 et 2016, ne sont pas sans conséquences sur le fonctionnement hydrologique de la basse vallée du fleuve Ouémé.

3.3 IMPACT SUR LES RESSOURCES EN EAU

La figure 7 traduit les variations des différents termes du bilan hydrologique. L’analyse de cette figure montre que la pluie reste le facteur le plus important, conditionnant tous les autres paramètres du bilan hydrologique. Ainsi, des pluies moyennes de 124 mm, 129 mm et 128 mm ont entraîné des écoulements moyens respectivement de : 0,7 mm, 0,9 et 0,4 mm au cours des années 1988, 2010 et 2014. De même, on note que pour une hauteur de pluie de 100 % reçue dans la basse vallée, on relève 31 % à 78 % pour l’évaporation, 20 % à 68 % pour la recharge et l’écoulement oscille entre 0,2 et 1 %. Il y a donc d’énormes pertes par évaporation évaluées à presque 80 % des précipitations. Ainsi, dans l’hypothèse d’une décroissance de 10 % de la pluviométrie avancée par les prévisions de [3], les écoulements superficiels seront réduits et les difficultés de disponibilité et d’approvisionnement en eau seraient plus accrues .

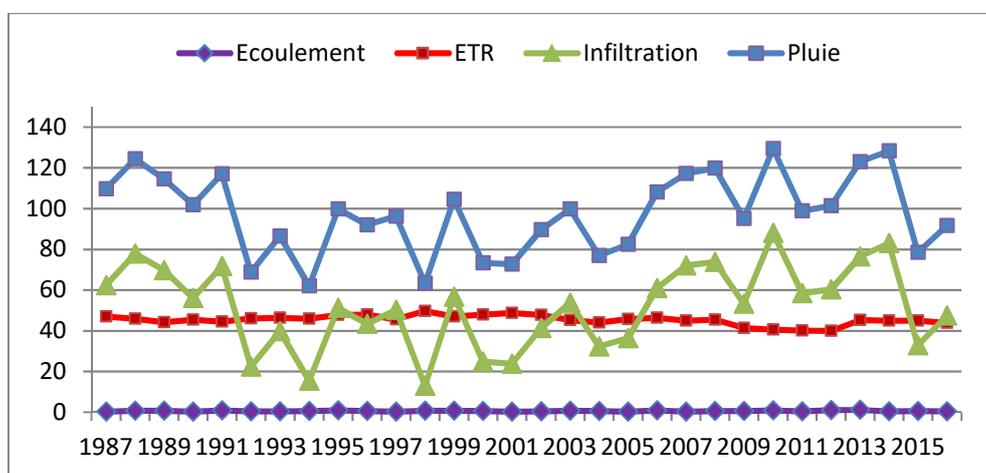


Fig. 7: Variabilité interannuelle des termes du bilan hydrologique

Il apparaît donc que la forte variabilité des hauteurs de pluie au cours de la période 1987-2016 a eu des répercussions considérables sur l’écoulement moyen de la vallée de l’Ouémé. Ainsi la disponibilité de la ressource en eau reste hypothéquée au fur et à mesure que cette tendance baissière continue au fil des années. Ces résultats sont similaires à celui [37], qui projette qu’à l’horizon 2050, cette situation devra être plus difficile sous la triple menace, d’une baisse des hauteurs de précipitation, d’une augmentation des températures minimales et maximales et d’une pression accrue de populations, sur les ressources naturelles en général et les ressources en eau en particulier.

4 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il ressort un caractère irrégulier de la pluviométrie bien que le front pluvieux ait pris une prépondérance sur les fronts déficitaires au niveau de la série 1987-2016. Ces résultats sont comparables à l’étude de [38] qui est parvenue à une inégale répartition des précipitations dans le bassin de l’Ouémé. Cette inégale répartition des précipitations dans le même bassin, conditionne la dynamique hydro-écologique et donc la répartition des espèces végétales et animales, terrestres et aquatiques. La basse vallée de l’Ouémé a donc une grande diversité d’écosystèmes aquatiques : rivières, lacs, marécages, etc. [39]. A l’instar des zones humides, c’est un environnement sensible qui peut être exploité de façon méthodique pour éviter son déséquilibre. Les cultures de contre saison peuvent y être repensées et améliorées avec les méthodes modernes d’exploitation qui déjà font leur preuve sous d’autres cieux. Mais, l’eutrophisation de la basse vallée de l’Ouémé se justifie surtout par le gradient amont-aval qui facilite le drainage des polluants issus de l’utilisation des intrants agricoles pour la production cotonnière dans le bassin [35]. De même, les flux terrigènes drainés par les eaux contribuent à l’ensablement de la basse vallée. Ce constat permet de comprendre l’exploitation à peine contrôlée des sables sur plusieurs sites le long du

bassin par les riverains pour la commercialisation avec l'aval des collectivités locales qui se contentent de percevoir des taxes de prélèvement.

RÉFÉRENCES

- [1] I. NIANG, « Le changement climatique et ses impacts: les prévisions au niveau mondial », n° 85, p. 13-19, 2009.
- [2] GIEC, « Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A.(publié sous la direction de~)] », GIEC, Genève, Rapport de groupe de travail 4, 2007.
- [3] R. OGOUWALE, « Changements climatiques, dynamique des eaux de surface et prospectives sur les ressources en eau dans le bassin de l'okpara a l'exutoire de kaboua », Thèse de doctorat unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, BENIN, 2013.
- [4] KUNDZEWICZ, « Changement climatique et pénurie d'eau », p. 14-16, 2008.
- [5] O. BROWN et A. CRAWDORD, « Évaluation des conséquences des changements climatiques sur la sécurité en Afrique de l'Ouest : Étude de cas nationale du Ghana et du Burkina Faso », *IIIDD, Canada*, 2008. [En ligne]. Disponible sur: www.iisd.org/pdf/2008/security_implications_west_africa_fr.pdf. [Consulté le: 16-avr-2018].
- [6] FIDA, « Le FIDA et le changement climatique », FIDA, Rome, Italie, Consultation sur la huitième reconstitution des ressources du FIDA 8, 2008.
- [7] J. E. PATUREL, E. SERVAT, B. KOUAME, et J. F. BOYER, « Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne, Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin », *Sécheresse*, n° 6, p. 95-102, 1995.
- [8] S. RABOURDIN, *Changement climatique. Comprendre et agir*. Paris, Delachaux et Niestlé, 2005.
- [9] B. SMIT et M. SKINNER, « Adaptations options in agriculture to climate change: A typology. Mitigation and Adaptation, Strategies for Global Change », n° 7, p. 85-114, 2002.
- [10] M. LE LAY, « Caractérisation hydrologique et simulation numérique des écoulements sur le bassin de la haute vallée de l'Ouémé (Bénin) », Rapport de DEA, MMGE, LTHE/UJF/INPG, Grenoble, (France), 2002.
- [11] PEUGEOT C. *et al.*, « Mesoscale water cycle within the West African Monsoon », *Atmos Sci Let*, n° 12, p. 45-50, 2011.
- [12] A. ZANNOU, « Analyse et modélisation du Cycle Hydrologique Continental pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Bénin. Cas du Bassin de l'Ouémé à Bétérou », Thèse de Doctorat, UAC, BENIN, 2011.
- [13] S. AKOGNONGBE, « Influence de la variabilité climatique et des activités anthropiques sur les eaux de surface dans le bassin de l'Ouémé à Bétérou au Bénin », Thèse de doctorat unique de l'Université d'Abomey-Calavi, UAC, Abomey-Calavi, Bénin, 2014.
- [14] D. ABDOULAYE, « Dynamique de l'occupation des terres et ses incidences sur l'écoulement dans le bassin de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou (Nord- Bénin) », Thèse de doctorat unique de l'Université d'Abomey-Calavi, UAC, Abomey-Calavi, Bénin, 2015.
- [15] P. A. LALEYE, « Ecologie comparée de deux espèces de Chrysichthys, poissons siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire lac Nokoué-lagune de Porto-Novo au Bénin », Université nationale du Bénin, Abomey-Calavi, 1995.
- [16] A. CHIKOU, « Etude de la démographie et de l'exploitation halieutique de six espèces de poissons-chats (Teleostei, Siluriformes) dans le delta de l'Ouémé au Bénin », 2006.
- [17] P. PELISSIER, « Les pays du Bas-Ouémé, une région témoin du Dahomey méridional », *Norois*, vol. 40, n° 1, p. 420, 1963.
- [18] V. ADJAKIDJE et N. SOKPON, « Caractérisation de la flore et de la végétation des complexes Est et Ouest des zones humides du Sud-Bénin », Rapport de Consultation PAZH-Bénin, 2001.
- [19] P. A. LALEYE, A. CHIKOU, J.-C. PHILIPPAPT, G. TEUGELS, et P. VANDEWALLE, « Etude de la diversité ichtyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest) », *CYBIUM*, vol. 28, n° 4, p. 329-339, 2004.
- [20] R. L. WELCOMME, « Evaluation de la pêche intérieure au Dahomey, son état actuel et ses possibilités », FAO, Rôme, AT 2938, 1971.
- [21] M. NONFON, « Données préliminaires sur l'écologie et la production halieutique des "trous à poissons" de la rive gauche de la basse vallée de l'Ouémé (République Populaire du Bénin) », Mémoire d'Ingénieur Agronome, FSA, Université Nationale du Bénin, Abomey-Calavi, 1988.
- [22] P. LALEYE, O. SALAKO, A. CHIKOU, et J.-C. PHILIPPAPT, « Artisanal gill-net fishery catches of the catfish, *Schilbe intermedius* (Teleostei: Schilbeidae), in two tributaries of the Ouémé River, Bénin, West Africa », *Afr. J. Aquat. Sci.*, vol. 30, n° 2, p. 163-166, 2005.
- [23] C. HOUNDENOU, « Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin diagnostic et modélisation », Thèse de doctorat de 3° cycle, Dijon, France, 1999.
- [24] I. YABI, « Recherche sur la variabilité de l'humidité relative dans le Centre du Bénin », *Clim. Dév.*, n° 3, p. 55-65, 2007.
- [25] E. W. VISSIN, « Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des eaux de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger », Thèse de doctorat de 3° cycle, Université de Bourgogne, Dijon, France, 2007.

- [26] M. BERGAOUI et A. ALOUINI, « Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie », *Sécheresse*, vol. 12, p. 205-213, 2001.
- [27] H. LUBES, J.-M. MASSON, P. RAOUS, et M. TAPIAYU, *Logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie*, ORSTOM. Paris: ORSTOM, 1994.
- [28] G. MAHE et J.-C. OLIVRY, « Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989 », *Sécheresse*, vol. 6, n° 1, p. 109, 1995.
- [29] J. E. PATUREL et E. SERVAT, « Procédure d'identification de ruptures dans les séries hydrologiques ; modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne », *Hydrol. Trop. Géoscience Outil Pour Dév. IAHS Publ*, n° 238, p. 251-268, 1996.
- [30] E. SERVAT *et al.*, « Différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne », *Rev. Sci. Eau*, vol. 12, n° 2, p. 26, 1999.
- [31] E. AMOUSSOU, « Variabilité pluviométrique et dynamique hydrosédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest) », Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Bourgogne, Dijon, France, 2010.
- [32] C. HOUNDENOU, « Variabilité pluviométrique et conséquences socio-écologiques dans les plateaux du Bas-Bénin (Afrique de l'Ouest) », Mémoire de DEA Climats et Contraintes Climatiques ". URA 909 du CNRS « Climatologie tropicale », Université de Bourgogne, Dijon, France, 1992.
- [33] D. H. KOUMASSI, « Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de Couberi », Thèse de Doctorat de 3ème cycle Géoscience de l'Environnement et Aménagement de l'Espace, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 2014.
- [34] M. H. ASSABA, « Impacts des péjorations pluviométriques et de la dynamique de l'occupation du sol sur les ressources en eau dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Savè », Thèse de doctorat de 3° cycle, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Bénin, 2014.
- [35] M. BOKO, « Climats et communautés rurales du Bénin. Rythmes climatiques et rythmes de développement », Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Sorbonne, Paris IV, France, 1988.
- [36] E. B. BOKONON-GANTA, « Les climats de la région du Golfe du Bénin (Afrique de l'ouest) », Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Sorbonne, Paris IV, France, 1987.
- [37] K. S. KLASSOU, « Evolution climato-hydrologique récente et conséquences sur l'environnement : l'exemple du bassin versant du fleuve Mono (Togo-Bénin) », Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux III, Bordeaux, (France), 1996.
- [38] E. AMOUSSOU, « Péjoration climatique et dynamique hydroécologique dans le bassin-versant du fleuve Ouémé à Bonou au Bénin », *Hydrol. Sci. J.*, vol. 57, p. 235-244, 2015.
- [39] J.-B. VODOUNOU, « Valorisation de la jacinthe d'eau : une innovation des populations de la vallée de l'Ouémé », *Rev. Géographie Lardymes Ahoho*, n° 11, p. 90-97, 2013.