

ISSN 1727 – 8651

JOURNAL
de la
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
de
L'UNIVERSITÉ DE LOMÉ



LOME - TOGO

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé est
référéncé dans African Journal on Line (AJOL) [www.inasp.org/ajol]

VOLUME 18
(2016)

Numéro 2

Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo)

COMITE DE LECTURE:

Professeur M. GBEASSOR (Togo)
Professeur K. AHADZI-NONOU (Togo)
Professeur K. TCHAKPELE (Togo)
Professeur B. SINSIN, (Bénin)
Professeur T. T. K. TCHAMIE (Togo)
Professeur K. AKPAGANA (Togo)
Professeur A. K. C. JOHNSON (Togo)
Professeur M. L. BAWA (Togo)
Professeur K.M. NUBUKPO (Togo)
Professeur M. DAVID-PRINCE (Togo)
Professeur K. KOUMAGLO (Togo)
Professeur K. JONDO (Togo)
Professeur K. SANDA (Togo)
Professeur K. KADANGA (Togo)
Professeur K. KOKOU (Togo)
Professeur K. BATAWILA (Togo)
Professeur P. SANKARA (Burkina Faso)
Professeur M.GOEH-AKUE (Togo)
Professeur K. KOSSI-TITRIKOU (Togo)
Professeur M. MOUDACHIROU (Bénin)
Professeur B.TCHAM (Togo)
Professeur K. BEDJA (Togo)
Professeur K. KILI, (Togo)
Professeur G. DJANEYE-BOUNDOU (Togo)
Professeur G. TCHANGBEDJI, (Togo)
Professeur N. BIGOU-LARE (Togo)
Professeur A. SANTOS (Togo)
Professeur M. KPODAR (Togo)
Professeur A. VOVOR (Togo)
Professeur K. AMOUZOU (Togo)
Professeur B. GNON (Togo)
Professeur K. NUBUKPO (Togo)
Professeur E. AGBODJI (Togo)
Professeur A.-R. AGBERE (Togo)
Professeur D. DOSSEH (Togo)
Professeur K. A. BALOGO (Togo)
Professeur M. A. MOHOU (Togo)
Professeur K. NAPO (Togo)
Professeur M. BANNA (Togo)

COMITE DE REDACTION:

Rédacteur en Chef : Professeur Ampah Kodjo Christophe JOHNSON

Membres :

- Professeur Komi KOSSI-TITRIKOU
- Dr Milohum Mikesokpo DZAGLI
- Dr Marra DOURMA
- M Tata Koffi KUWONU

Traitement et Mise en page : M Komi AGBAVON

SOMMAIRE

Série Sciences Naturelles et Agronomie

1. ADJAGODO A. & *al.* (Bénin)
Spéciation chimique du plomb et du cuivre par extraction séquentielle des sédiments et de l'eau de la retenue de l'Okpara au Bénin, 1
2. DAN GUIMBO I. & *al.* (Niger)
Potentiel de régénération naturelle de *neocarya macrophylla* et *vitellaria paradoxa* dans le sud-ouest nigérien, 13

Série Lettres et Sciences Humaines

3. ATCHOLE E. (Togo)
La nuisance sonore et la qualité de vie dans la ville de Lomé, 27
4. AGBDJOGBE W. K. D. D. & *al.* (Bénin)
Identification et étude photochimique de plantes utilisées comme diurétique au Bénin, 45
5. HOUEDENOU F. (Bénin)
Phénomène de déperdition scolaire féminine : analyse et perspectives d'action pour le développement des compétences au Bénin, 57
6. VISSIN E. W. & *al.* (Bénin)
Variabilité climatique et hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou, 69
7. Dr GBAGUIDI G. A. G. & CODO C.-N. (Bénin)
Espaces socio-éducatifs et regard de jeunes : pourquoi les jeunes se sentent-ils exclus des musées ? 83
8. Dr AKINSULIRE Y.P.
Content familiarity, attitude and achievement in dramatic Literature-in-English in Nigeria, 95

Série Droit, Sciences Economiques et de Gestion

9. BALOGOUN I. (Bénin)
Un réexamen de la relation entre l'ouverture commerciale et la pauvreté dans les pays en développement, 107

Série Sciences expérimentales et médicales

10. SANGARE S. A. & *al. al.* (Mali)

Prévalence des entérobactéries productrices de bêta-lactamases à spectre étendu isolées des hémocultures sur le continent africain et les gènes impliqués chez les souches BLSE : revue de la littérature,133

11. TSOLENYANU E. & *al.* (Togo)

Expérience de SPES dans la prise en charge des enfants placés en institution en Afrique,149

12. AYOUBA G. & *al.* (Togo)

Epidémiologie des fractures après 50 ans à Lomé,161

13. KOMBATE D. & *al.* (Togo)

Démence vasculaire en milieu hospitalier au Togo,169

14. AVAKOUDJO J.D.G. & *al.* (Bénin)

Méconnaissance des traumatismes des voies urinaires dans un contexte de poly traumatisme : à propos de deux observations,175

15. GBENOUDON SATO GUINA S. J. & VIKOU R. (Bénin)

Interactions entre le paludisme et les helminthiases : régulation immunitaire, revue de littérature,181

16. TÊKO M. & *al.* (Togo)

Séroprévalence des anticorps anti-HBc chez les donneurs de sang de Lomé (Togo),187

17. AMEDOME K.M. & *al.* (Togo)

Topographie en tomographie en cohérence optique (OCT) des grandes excavations papillaires à Lomé,193

18. SEGBEDJI K.A.R. & *al.* (Togo)

Prévention de la diarrhée chez les enfants de moins de cinq ans : connaissances, attitudes, et pratiques des mères au Centre Hospitalier et Universitaire Sylvanus Olympio de Lomé.,201

19. AMEDOME K.M. & *al.* (Togo)

Profil des affections oculaires chez l'enfant en zone sahélienne : cas de l'Hôpital National de Lamordé à Niamey au Niger,209

20. BELLO A.-W., DJARA T. & GOUDJO A. (Bénin)

Un solveur HLLT pour les équations de Saint-Venant et traitement des confluences et des inondations,217

VARIABILITE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME A BONOU

VISSIN E. W. *, HEDIBLE S., AMOUSSOU E., TOTIN H. S., ODOULAMI L.,
ETENE C., BOKO M. et BLIVI A.
Laboratoire Pierre Pagney Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement,
Université d'Abomey Calavi, Cotonou, Bénin République
(*) E-mail : exlaure@gmail.com

(Reçu le 17 Janvier 2016 ; Révisé le 10 Mars 2016 ; Accepté le 22 Mars 2016)

RESUME

Les questions de la variabilité ou des changements climatiques et de leurs implications sur les écosystèmes naturels et sur les ressources en eau, sont de plus en plus placées au centre des grands débats scientifiques, politiques et de développement durable tant dans le monde qu'au Bénin. La présente étude vise à analyser la variabilité hydroclimatique et ses effets dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou. La démarche méthodologique s'est focalisée sur l'analyse des données climatologiques (Pluie) sur la période 1950 à 2010, (ETP) de 1965 à 2010 et les données hydrométriques (débits mensuels) sur la période 1950 à 2010. De même, les statistiques de la production agricole sont utilisées afin d'évaluer l'impact des événements pluviométriques et hydrologiques extrêmes sur la production agricole. Par ailleurs des observations directes ont été effectuées sur le terrain en période de crue. Il ressort de l'analyse des résultats que le secteur d'étude a non seulement connu une rupture de stationnarité autour les années 1970, mais aussi d'une baisse des précipitations de l'ordre de 15 à 20 % suivie d'une légère reprise de 2 % à la fin des années 1990. Ces fluctuations pluviométriques soumettent parfois les principales spéculations agricoles à des surplus d'eau dans les sols tout en les rendant plus vulnérables. De même, les crues exceptionnelles qui surviennent entraînent la destruction des cultures, et un déficit de la production agricole dans le milieu d'étude. En ce qui concerne les cours et plans d'eau existants cette situation engendre une dégradation du couvert végétal et accélère le phénomène d'érosion avec pour corollaires le drainage des particules solides et par conséquent le comblement du lit des cours d'eau. Face à cette situation, les populations développent plusieurs stratégies d'adaptation et de mitigation pour atténuer les impacts des pluies extrêmes dans le milieu d'étude.

Mots clés : Basse vallée de l'Ouémé à Bonou, variabilité climatique, production agricole, écosystèmes.

ABSTRACT

Most of the research about variability and climate change and their implications for natural ecosystems and water resources are placed in the center of the great scientific debates, policies and sustainable development in the world and specially in Benin. This study aims at analyzing the hydroclimatic variability and its effects in the lower valley of Ouémé to Bonou. The methodology is focused on the analysis of climate data (rain) over the period 1950-2010 (ETP) from 1965 to 2010 and hydrometric data (monthly rates) over the period 1950 to 2010. The statistics of agricultural production are used to assess the impact of extreme rainfall and hydrological events on agricultural production. Also direct observations were made on the ground during floods. It appears from the analysis of the results that the study area has not only grown out of stationarity around the 1970 but, also a decrease in rainfall of 15 to 20% followed by a slight recovery 2% in the late 1990. These rainfall fluctuations may submit the main agricultural crops to water excess in the soil while making them more vulnerable. Exceptional floods that occur result in the destruction of crops, and a deficit of agricultural production in the

sector of this study. According to lake and river this situation cause a degradation of vegetation cover and accelerates the erosion phenomenon with corollary the drainage of solid particles and therefore the filling the beds of streams. Faced with this situation, many people develop strategies for adaptation and mitigation to reduce the impacts of extreme rainfall in the middle of study

Keywords: Lower Valley Oueme to Bonou, climate variability, agricultural production, *ecosystem*.

INTRODUCTION

La forte fréquence des événements pluviométriques extrêmes de ces trois dernières décennies en Afrique de l'ouest a des répercussions sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau et limite la mise en valeur efficiente de leurs potentialités inhérentes aux activités tributaires de l'eau (OMM, 2006).

Dans le Bénin méridionale en général et dans la basse vallée de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en particulier, les précipitations sont marquées par une diminution du nombre de jours de pluie et des hauteurs d'eau sur la période 1970-1990 (Ogouwalé, 2004). Cette diminution entraîne une concentration des masses d'eaux et de ce fait, les pluies surviennent moins mais avec plus d'intensité (Houndakinou, 2005). Selon le PIGB (2003), le nombre des événements, pluvieux extrêmes n'a cessé de s'accroître ces dernières années, tant au Bénin que dans la sous-région. Les précipitations supérieures à la normale ont été enregistrées en Afrique Occidentale, avec des excédents compris entre 50 et 350 mm. Ces événements pluvieux extrêmes augmenteront très probablement au cours des prochaines décennies (Houndénu *et al.*, 2008). Cependant, ses études qui se sont focalisées sur la variabilité puvio hydrologique ont peu abordé la vulnérabilité physique du

Bénin dont celle du secteur d'étude est liée aux fortes pluies, aux inondations, aux sécheresses, à l'érosion côtière et aux phénomènes épidémiques (Amoussou, 2010). Cette vulnérabilité est accentuée par des facteurs socioéconomiques et environnementaux, en particulier la grande dépendance de l'agriculture à la pluviométrie, ajoutées à la mauvaise occupation des terres par des populations, mettant en évidence le problème d'aménagement du territoire et d'occupation du sol (Totin, 2012). Cette recherche vise à analyser la variabilité hydroclimatique et ses corollaires sur l'environnement, les activités socioéconomiques dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou.

Le milieu d'étude (figure 1) est situé dans le département de l'Ouémé entre 6°24' et 6°52' de latitude nord et entre 2°24' et 2°38' de longitude est. Il jouit d'un climat subéquatorial qui d'ailleurs participe à la régulation des activités sur des sols très variés propices pour le développement agricole et s'étend sur une superficie de 250 km². Du point de vue hydrologique elle est traversée par le fleuve Ouémé et recouvre des unités de paysages variées, constituées de plaines d'inondation et de plateaux culminant. Les formations continentales post-éocènes composées essentiellement de Terres de Barre déterminent la géologie du bassin de l'Ouémé à Bonou.

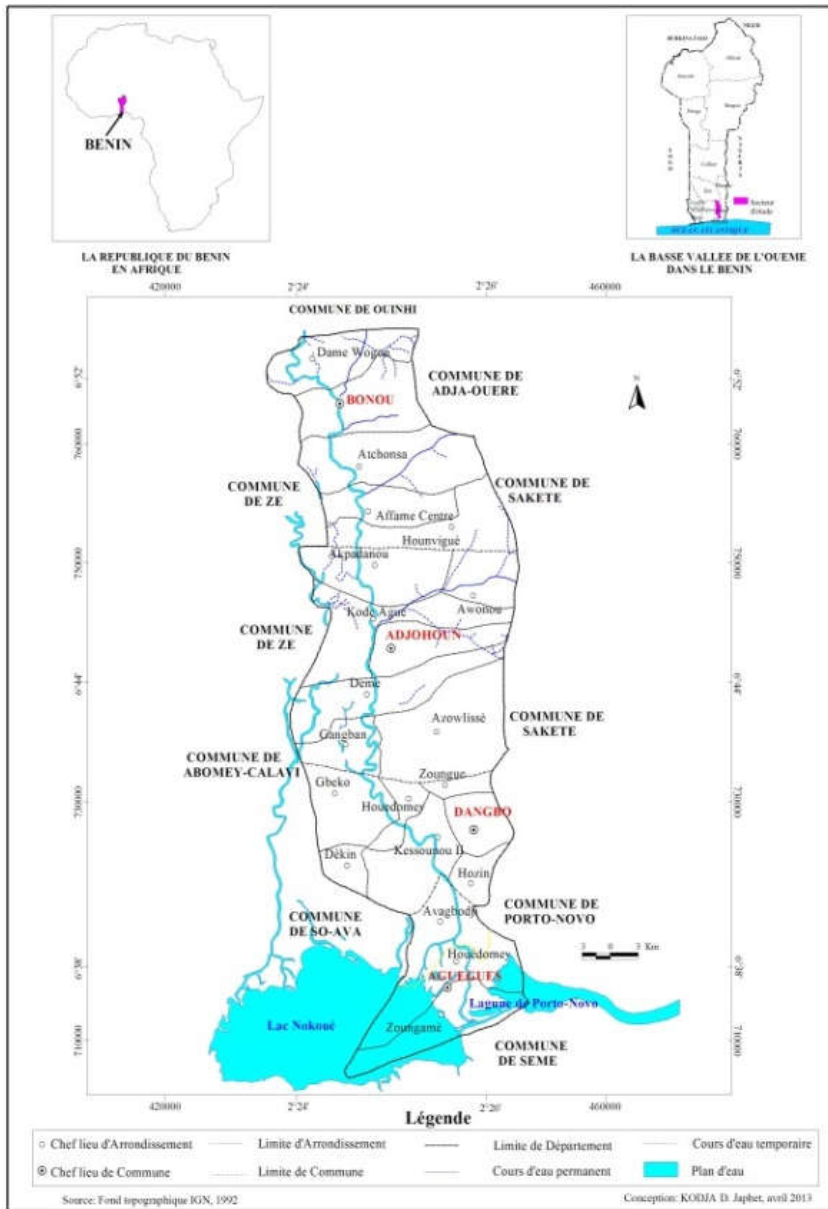


Figure 1 : Situation de la basse vallée de l'Ouémé à Bonou

1. DONNEES ET METHODES

1.1. Données

Les données utilisées dans le cadre de cette étude concernent les statistiques (climatologiques relatives à la pluie journalière, mensuelle et annuelle de la station de Bonou issues des fichiers de l'ASECNA de 1950 à 2010), les données d'ETP de la station

synoptique de Cotonou sur la période 1965 à 2010 ; les données hydrométriques sont constituées des débits journaliers et mensuels obtenus au Service de l'Hydrologie de la Direction Générale de l'Eau sur la période 1950 à 2010. Et enfin, les données cartographiques liées aux secteurs vulnérables à l'inondation dans le milieu d'étude et les

statistiques agricoles relatives à la production et au rendement des campagnes agricoles sur la période 2000-2010 tirées des archives du CARDER Ouémé-Plateau .

1.2. Méthodes

1.2.1. Indice pluviométrique

Cette étude statistique a permis d'identifier les séquences sèches ou déficitaires, les séquences humides ou excédentaires et les séquences moyennes ou normales sur la période (1950-2010). L'indice pluviométrique est déterminé à partir de la formule :

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

Avec X_i est la pluviométrie de l'année i ;

\bar{X} la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence et σ : L'Ecart type de la série.

Si $I_p < 0$: l'année est sèche ou déficitaire ;

$I_p = 0$: l'année est dit moyenne ou normal et

$I_p > 0$: l'année est humide ou excédentaire.

1.2.2. Mise en évidence des tendances pluviométriques et hydrologiques

Elle a été effectuée à partir d'une représentation graphique de droite de régression de type affine qui présente l'évolution linéaire et permet de déceler la tendance. L'équation de la droite de tendance est sous la forme : $Y = ax + b$; a est le coefficient directeur et représente la pente et b une constante.

- Si $a > 0$, on a une tendance à la hausse ;
et Si $a < 0$, on a une tendance à la baisse

La mise en évidence de l'indice pluviométrique a permis de caractériser les extrêmes hydropluviométriques ainsi que les régions confrontées aux inondations dans vallée de l'Ouémé à Bonou.

Les indicateurs de vulnérabilité des rendements agricoles ont été déterminés sur la base des

investigations en milieu réel. Il s'agit des indicateurs socio-anthropologiques, extraits des informations fournies par les populations enquêtées et issus des observations de terrain.

Les observations de terrain ont été d'une grande contribution. Elles ont permis d'identifier et d'évaluer les stratégies d'adaptation développées par les populations agricoles pour atténuer les impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur leur production.

1.2.3. Bilan hydrologique

L'étude du bilan hydrologique est indispensable pour estimer les ressources en eau du bassin, évaluer l'impact des fluctuations pluviométriques sur les autres termes du bilan Vissin, (2007). Le bilan hydrologique permet de mettre aussi en évidence la relation existant entre la sécheresse pluviométrique observée depuis 1970 et la sécheresse hydrologique au cours de ces dernières décennies

L'équation du bilan hydrologique utilisée pour cette étude est celle de Le Barbé et al, (1993). Elle s'écrit :

$$P = E + L + I + (S_1 - S_0)$$

Avec P = pluie en mm ; E = évaporation en mm ; L = écoulement en mm ; I = infiltration en mm ; $S_1 - S_0$ = variation du stock d'eau présent dans le bassin en mm pendant une période donnée qui n'est pas quantifiable par des mesures directes. Ainsi pour diminuer le nombre d'inconnues, la variation de ($S_1 - S_0$) est supposée négligeable. Ce travail a été réalisé suivant des années hydrologiques déterminées par la date des étiages absolus, dans cette région Amoussou (2007).

L'application de ces différentes méthodes de traitement à nécessiter l'utilisation de plusieurs outils de traitement et d'analyse.

1.2.4. Caractérisation de la vulnérabilité des secteurs à risque d'inondation et aux difficultés d'aménagement hydroagricoles

La carte de vulnérabilité est réalisée grâce à la combinaison des cartes de pentes réalisées sur la base du MNT ASTER V2 avec une réso-

lution de 30 m, de la densité de drainage ajoutées aux cartes de zone d’influence des principaux cours d’eau de la vallée et celle des ensembles géologiques du bassin.

Les secteurs à risque d’inondation, ont été définis par le croisement de l’aléa et de la vulnérabilité (CCT, 1993). Ainsi un aléa d’inondation fort dans une zone faiblement vulnérable traduit un secteur à fort risque.

2. RESULTATS

2.1. Evolution interannuelle des hauteurs de pluie dans la vallée de l’Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

Les figures 2 présente la variabilité interannuelle des hauteurs de pluie dans la vallée de l’Ouémé à Bonou.

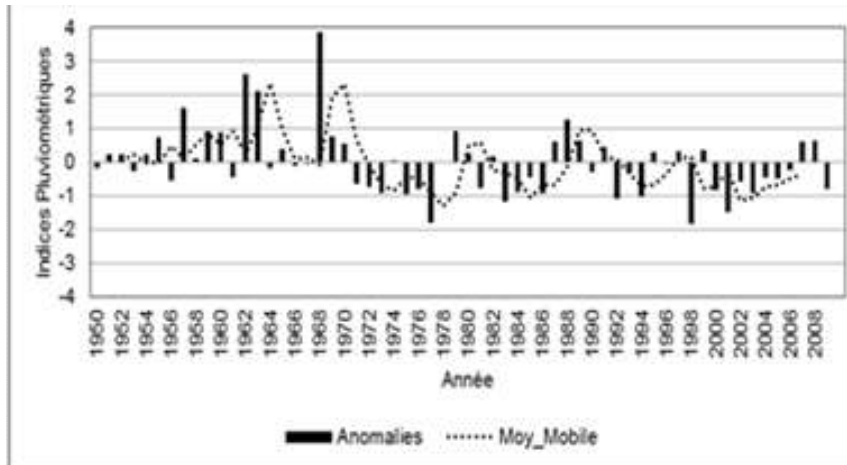


Figure 2 : Evolution Interannuelle des hauteurs de pluie dans la vallée de l’Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

L’analyse de la figure 2 révèle que sur la période 1950 à 1970, la plupart des anomalies sont positives, ce qui correspond à la période humide. Inversement, sur la période 1971 à 2010, il y a une dominance des anomalies négatives traduisant ainsi les années déficitaires. Deux sous périodes se dégagent donc de cette analyse à savoir la période de hausse pluviométrique de 1950 à 1970 (période humide) et une période de baisse pluviométrique de 1971 à 2010 (période sèche), même si on observe un retour à la normale de

hauteurs de pluies des les années 1990.

Cette analyse soumise au test de la rupture de qu’une rupture de stationnarité a été observée au cours des années 1970 avec une significativité de 99 % selon le test de Pettitt. Il apparaît donc deux grandes sous périodes notamment la période humide de 1951 à 1970 et la période de récession pluviométrique de 1971 à 2010.

Le tableau I présente les sous périodes selon la segmentation de Hubert.

Tableau I : Sous- période de ruptures détectées

| Période | | Moyenne | Ecart type |
|---------|------|---------|------------|
| Début | Fin | | |
| 1950 | 1970 | 1248,5 | 205,7 |
| 1971 | 2010 | 1108,9 | 149,3 |

Significativité du test de Scheffé : 1 %

Il ressort de l'analyse du tableau I que la sous période 1950 à 1970 a une moyenne de 1248,5 et un écart de 205,7 tandis que la sous période 1971 à 2010 a une moyenne de 1108,9 et un écart type de 149,3. Cela amène à dire selon la segmentation de Hubert dans la recherche de la rupture de stationnarité, que la sous période 1950 à 1970 est plus humide que celle allant de 1971 à 2010.

Cette variabilité des lames d'eau précipitées est en phase avec les résultats d'études antérieures entreprises sur la variabilité spatio-temporelle des précipitations en Afrique de l'Ouest (Hubert *et al.*, 1989 ; Mahé et Olivry, 1995 ; Bricquet *et al.*, 1997) et à l'échelle du bassin de l'Ouémé (Akognongbé 2008, Vodounnon,

2008 et Kodja, *et al.*, 2012) qui d'ailleurs ont montré qu'il y a une tendance générale à la baisse de la pluviométrie avec une rupture au cours des années 1970.

Se référant à ces études antérieures et aux analyses de la figure 2, l'évolution interannuelle des hauteurs de pluie dans la basse vallée de l'Ouémé est étudiée suivant les sous périodes 1950-1970 et 1971-2010 afin de mieux caractériser les extrêmes et les éventuels aléas hydroclimatiques.

2.2. Etude comparée des sous périodes pluviométriques dans la vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

La figure 3 présente les régimes mensuels pluviométriques sur les deux sous périodes dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou.

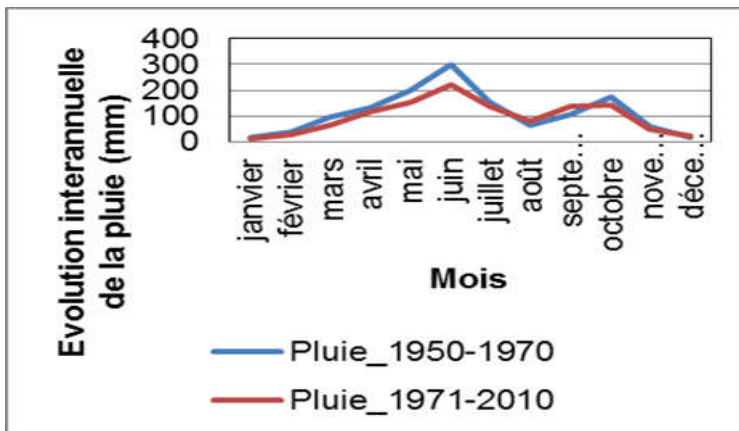


Figure 3 : Evolution mensuelle et comparée des hauteurs de pluies sous périodes. 1950-1970 et 1971-2010

L'analyse de la figure 3, révèle que la moyenne pluviométrique de tous les mois de la sous période 1950-1970 est supérieure à celle de la sous période 1971 à 2010 à l'exception des mois de Août, septembre et décembre. Globalement il faut retenir que la sous période 1971 à 2010 est déficitaire par rapport à la sous période 1951 à 1970 avec un écart de 21 %. L'étude du nombre de jours de pluie dans la basse vallée de l'Ouémé paraît important et édifie à mieux apprécier les extrêmes et les

aléas hydroclimatiques dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou.

2.3. Analyse du régime pluviométrique mensuelle en fonction du nombre de jours de pluie dans la vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

La figure 4 présente le régime mensuel du nombre de jours de pluie dans la vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010.

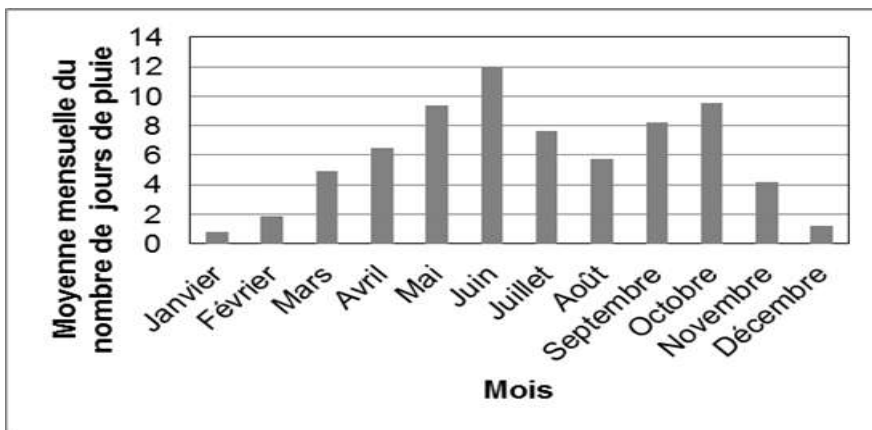


Figure 4 : Régime mensuel moyen du nombre de jours de pluies dans la vallée de l'Ouémé à Bonou de 1951 à 2010 / Source des données : ASECNA, 2010

L'analyse de la figure 4, relative au régime mensuel du nombre de jours de pluies sur les 05 stations, révèle un régime bimodal (Juin et Octobre) dont le maximum est observé en juin. Ces deux saisons sont alternées par deux saisons sèches. Ces différentes saisons régulent les activités socioéconomiques et sont d'ailleurs en phases avec la plupart des régimes pluviométriques des climats de type subéquatorial (Amoussou, 2010).

La figure 5 met en relief l'évolution interannuelle du nombre de jours de pluie dans la vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010.

2.4. Evolution interannuelle du nombre de jours de pluie dans la vallée de l'Ouémé à Bonou.

La figure 5 met en relief l'évolution interannuelle du nombre de jours de pluie dans la vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010.

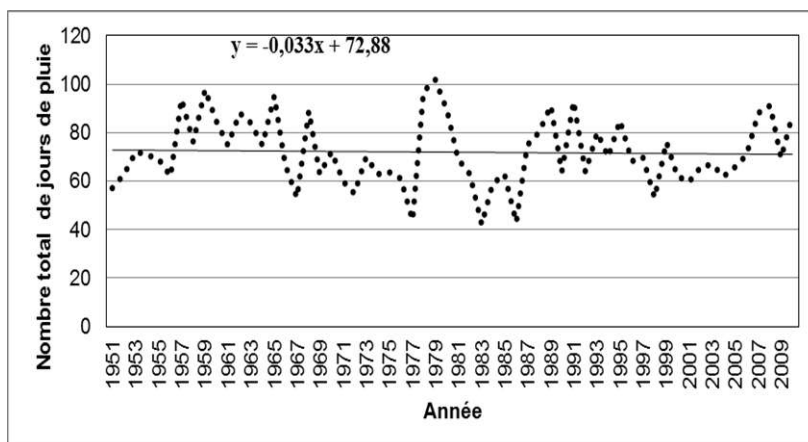


Figure 5 : Evolution interannuelle du nombre de jours de pluie dans la vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010 / Source des données : ASECNA, 2010

L'analyse de figure 5 a permis de noter une baisse légère du régime pluviométrique, ce qui s'explique par la valeur négative du coefficient de régression qui est de - 0,033 sur le nombre total de jours de pluie au plan annuel à Bonou. Ce constat est en phase avec les résultats des travaux réalisés à l'échelle de fleuve Ouémé dont -1,47 à Abomey et -0,56 à Zagnanado ce qui constitue un indicateur de la régression pluviométrique (LECREDE, 2005). Il en résulte donc que l'évolution spatio-temporelle du climat dans le secteur d'étude régit le

fonctionnement du système économique qui dépend de la pluviométrie et des écoulements fluviaux dont les extrêmes sont susceptibles d'induire des risques d'inondation (Bossa, 2007).

2.5. Régime pluviométrique au pas de temps journaliers et le bilan climatique de la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

La figure 6 présente l'évolution journalière de la pluie dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010.

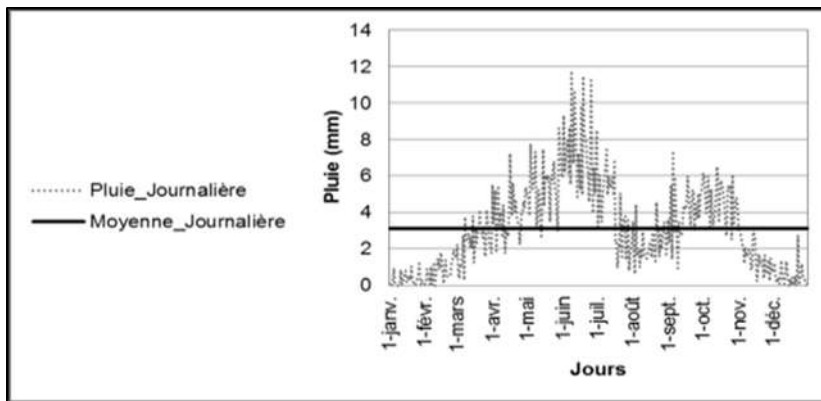


Figure 6 : Evolution journalière de la pluie à Bonou de 1950 à 2010

De l'analyse de la figure 6, il ressort qu'à Bonou, les pics journaliers s'observent en juin et en octobre dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou montrant ainsi un régime pluviométrique bimodal alterné par deux saisons sèches avec une moyenne qui varie de 3,1 mm à 3,7 mm de pluies. Les valeurs les plus faibles varient de (0,01 mm à 2,62 mm) et sont enregistrées pendant les jours des premiers mois (Janvier, février et mars) traduisant les pluies précoces et celles des deux derniers mois (novembre et décembre) marquant les pluies tardives. Faut-il ajouter que les pics journaliers en dessous et au-dessus de la moyenne journalière évoquent respectivement les périodes déficitaires et excédentaires.

induire un risque écologique. Ainsi la période déficitaire va contribuer à la baisse de l'écoulement dans la basse vallée de l'Ouémé avec comme corollaire la turbidité de l'eau accentuant la présence des substances chimiques nuisibles à l'écosystème aquatiques. Du reste, les excédents de pluies vont générer les crues susceptibles suivies éventuellement des inondations qui occasionnent des dégâts aussi bien sur les plans socioéconomique, environnemental et sanitaire.

L'analyse des apports pluvieux met en évidence la tendance à la baisse du reste de la quantité d'eau précipitée après évaporation. A cet effet, la figure 7 traduit l'évolution mensuelle du bilan climatique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1965 à 2010.

Les extrêmes de ces deux périodes peuvent

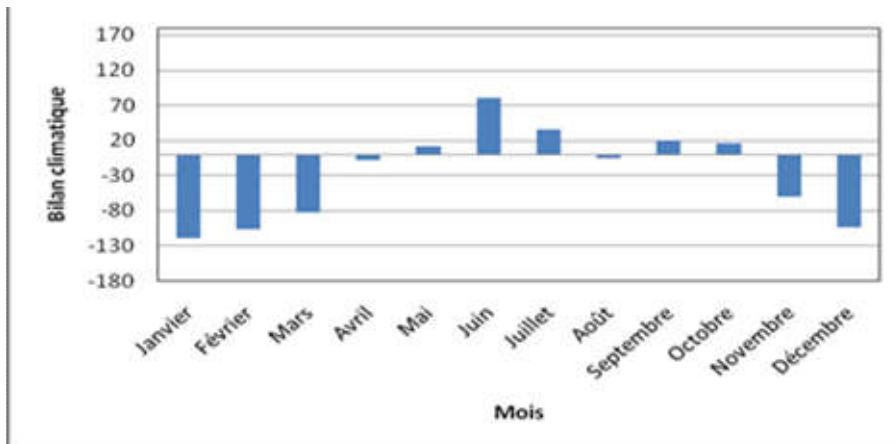


Figure 7 : Evolution saisonnière du bilan climatique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1965 à 2010

Il ressort de l'analyse de la figure 7 que les mois de juin, juillet, août et septembre enregistrent un bilan excédentaire tandis que les autres mois connaissent un bilan déficitaire du fait que l'évaporation est plus importante que la pluie pendant ces mois. Cette péjoration pluviométrique n'est pas sans conséquences sur le régime hydrologique de la basse vallée de l'Ouémé à Bonou.

2.6. Variation mensuelle, interannuelle et du déficit de l'écoulement dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou

Les figures 8 et 9 présentent respectivement la variation interannuelle de l'écoulement et de l'évolution mensuelle de l'écoulement dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou.

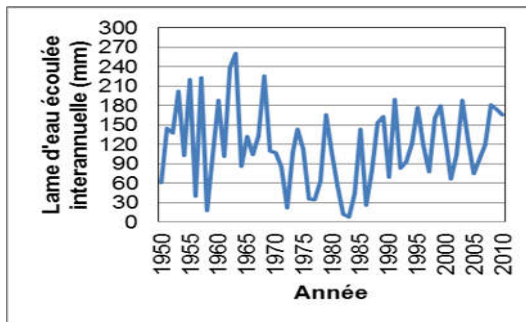


Figure 8 : Variation interannuelle de l'écoulement dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

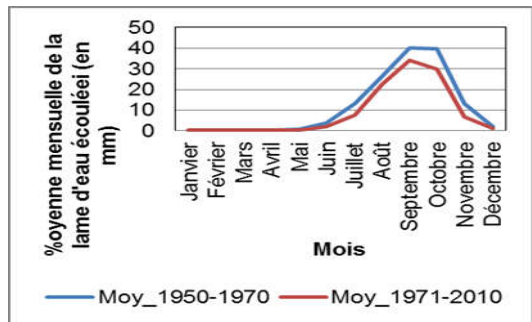


Figure 9 : Evolution mensuelle de l'écoulement dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

De l'analyse de ces deux figures (8 et 9) courbes, il ressort qu'une grande partie de l'eau qui tombe s'écoule. Ce qui traduit une perte assez importante des apports pluvieux. L'écoulement connaît une diminution pendant la phase de récession pluviométrique de 1971-2010. La basse vallée de l'Ouémé à Bonou a

également connu d'importantes périodes d'écoulement au cours des années 1962 et 1968. Ainsi, Les années 1962 (260, mm) et 1968 (230,87 mm) ont été des années marquées par une fortes crues. Les années 1977, 1983, 1992, 1994, 1998, 2001, 2002, 2004, 2009 ont été les années de faible écoulement ce qui

confirme que ces années sont vraiment sèches dans la basse vallée de l’Ouémé à Bonou avec un écoulement qui varie de 31,53 mm à 75,65 mm (Figure 8).

Il faut remarquer sur la figure 9 que les mois de juin à novembre de la sous période 1950 à 1970 présentent un écoulement qui est excédentaire sur ceux de la sous période 1971 à 2010. Cette

situation témoigne que ces mois sont plus humides avec un écoulement élevé en septembre tandis que les mois de décembre à mai présentent la même allure sur les deux sous périodes sont quasi nulles et illustrent le comportement du bassin pendant les mois secs. La figure 10 traduit l’évolution mensuelle du déficit d’écoulement dans la base vallée de l’Ouémé à Bonou sur les deux sous périodes.

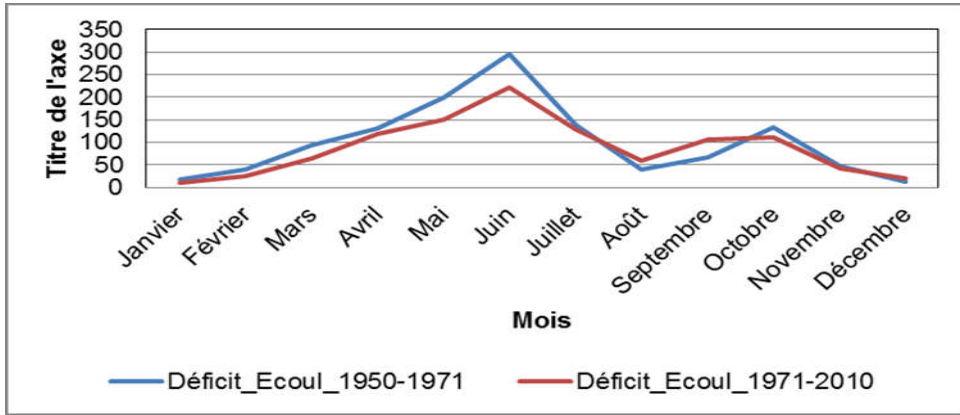


Figure 10 : Variation interannuelle du déficit d’écoulement dans la basse vallée de l’Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

A l’analyse de la figure 10 relative à la variation mensuel de l’écoulement, il ressort que le déficit d’écoulement calculé est en baisse sur tous les mois de la sous-période 1971-2010 par rapport à la sous période 1950 - 1970 à l’exception des mois de août et septembre. Cette diminution du déficit d’écoulement mensuelle varie d’octobre à juillet dont les plus fortes baisses sont enregistrées en avril, mai et juin. Ainsi, des deux sous-périodes, le déficit d’écoulement est de 24 %, ce qui témoigne que la sous-période 1971-2010 a un déficit d’écoulement plus prononcé que la sous-période 1950-1970 dont

le déficit d’écoulement est faible.

Il faut noter que la pluie est un paramètre très important pour que l’écoulement soit fortement prononcé, or en période sèche, l’eau de pluie n’alimente plus l’écoulement. C’est ce qui entraîne les déficits d’écoulement observés au cours de ces sous-périodes.

L’étude du coefficient d’écoulement a permis de mieux comprendre la dynamique hydrologique du bassin notamment l’influence de la lame d’eau précipitée sur l’écoulement.

La figure 11 illustre la variation mensuelle du coefficient d’écoulement dans la basse vallée de l’Ouémé à Bonou.

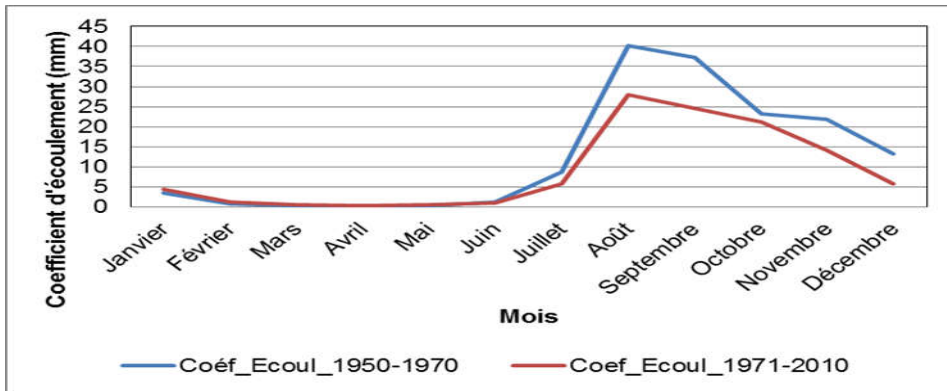


Figure 11 : variation du coefficient d'écoulement sur les deux sous périodes dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

De l'analyse de la figure 11, il ressort que les courbes relatives aux coefficients d'écoulement des deux sous périodes présentent quasiment la même allure. Certes, celle de la sous période 1950 à 1970 est excédentaire sur la celle de la sous période 1971 à 2010. Sur l'ensemble de ces sous périodes, les mois de Juin à décembre présentent un écoulement plus important que les mois de Janvier à mai et amène à dire que ces mois sont déficitaires.

2.7. Evolution du débit et la relation pluie débit dans la détermination de l'indicateur du risque écologique dans la vallée de l'Ouémé à Bonou

Les figures 12 et 13 illustrent l'évolution du débit journalier, mensuel et les périodes éventuelles d'un risque écologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1950 à 2010

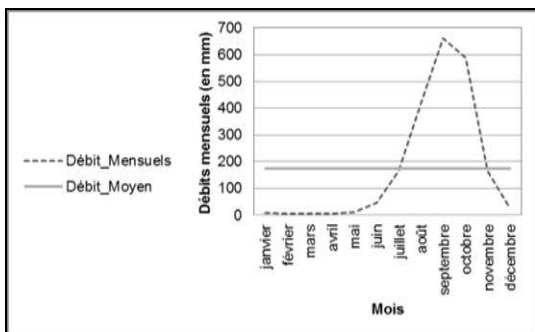


Figure 12 : Evolution du débit mensuel et de l'indicateur risque écologique dans la vallée de l'Ouémé à Bonou

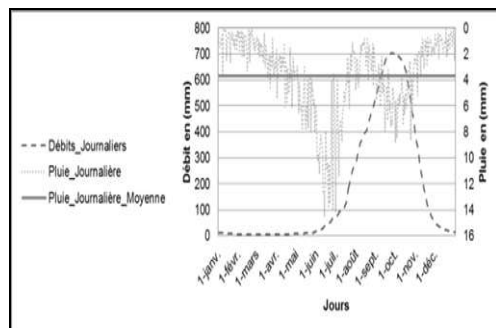


Figure 13 : Relation pluie débit au pas de temps journaliers de 1950 à 2010

L'analyse de la figure 12 révèle que les débits mensuels varient de 8 à 650 avec une moyenne de 193 m³/s. Tous les mois (de novembre à juin) dont les valeurs sont en dessous de cette moyenne traduisent les périodes d'étiage et sont susceptible d'induire en cas de persistance un risque écologique. Il en est de même pour les mois (juillet à octobre) ayant connu des excédents qui d'ailleurs selon les populations enquêtées sont les périodes où elles sont confrontées à des conséquences dommageables aux plans socioéconomique, environnemental et sanitaire dues à la survenance des crues.

Quant à l'analyse de la figure 13, il faut retenir que la basse vallée de l'Ouémé à Bonou est caractérisée par un écoulement important de juin à Novembre avec un maximum en septembre (660 m³/s) qui suit le même rythme que la pluviométrie. Aussi observe-t-on un écoulement quasi nul à partir de décembre mars traduisant la période de la récession

pluviométrique. Les pluies précoces des mois (Mars, avril et Mai) contribuent à la saturation des premiers horizons du sol et c'est en juin que l'écoulement s'étale. En gros, les inondations générant les crues observées au cœur de la petite saison pluvieuse (mi-août et mi-novembre) sont dues au fait que cette période coïncide avec la saison des pluies du domaine soudanien et contribue au gonflement du débit avec une augmentation du niveau de l'eau occasionnant l'inondation de la plaine. La basse vallée de l'Ouémé à Bonou a donc un régime hydrologique très lié à la pluviosité dont les extrêmes peuvent induire des risques au plan socio-environnemental.

2.8. Analyse du Bilan hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou

La figure 14 présente l'évolution des termes du bilan hydrologiques à l'échelle de la basse vallée de l'Ouémé à Bonou.

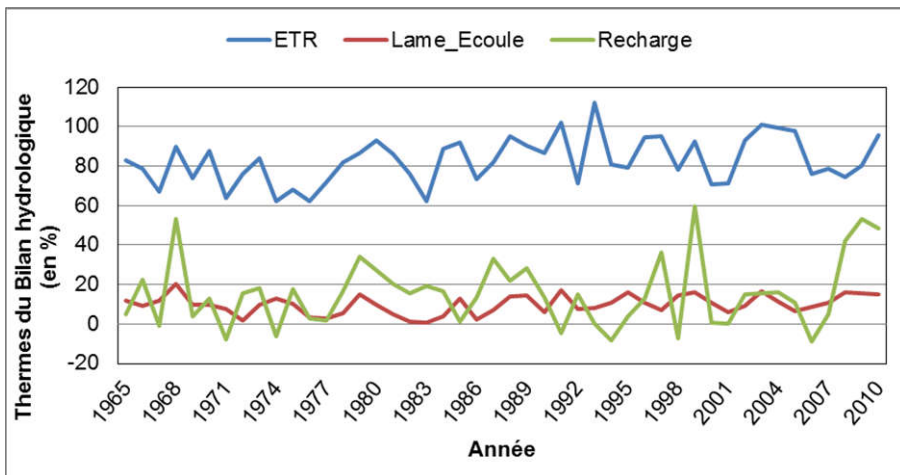


Figure 14 : Evolution des termes du Bilan hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1965 à 2010

L'analyse de la figure 14 permet de constater que, sur l'ensemble du bassin, la pluie reste le facteur le plus important, conditionnant tous les autres paramètres du bilan hydrologique. Ainsi pour une hauteur de pluie de 100 % dans

la basse vallée de l'Ouémé à Bonou, 60 à 110 % sont destinée à l'ETR, 2 à 19 % pour la lame d'eau écoulee et - 8 % à 60 % pour la recharge. Force est de constater que l'évaporation a le taux le plus élevé en dehors de la pluie. Pour

Variabilité climatique et hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou.

mieux apprécier ces différents termes du bilan hydrologique, il importe de comparer ces différents termes sur chaque sous période. Ainsi, le tableau II présente l'évolution des

termes du bilan hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1965 à 1970 et de 1971 à 2010.

Tableau II : Variation des termes du bilan hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou de 1965 à 1970 et de 1971 à 2010.

| Paramètres | Sous-périodes | Bonou |
|-------------------|----------------------|--------------|
| Pluie (mm) | 1965-1970 | 1209 |
| | 1971-2010 | 1205 |
| | Ecart | - 4 |
| | Déficit P1 et P2 (%) | -0,33 |
| ETR | 1965-1970 | 894 |
| | 1971-2010 | 928 |
| | Ecart | 34 |
| | Déficit P1 et P2 (%) | 3,8 |
| Écoulement | 1965-1970 | 136 |
| | 1971-2010 | 106 |
| | Ecart | - 30 |
| | Déficit P1 et P2 (%) | -22,05 |
| Recharge | 1965-1970 | 938 |
| | 1971-2010 | 956 |
| | Ecart | 18 |
| | Déficit P1 et P2 (%) | 1,91 |

L'évolution comparée des différents termes du bilan hydrologique révèle de façon globale que les écarts pluviométriques observés sur les deux sous périodes répercutent sur les ETR, l'écoulement, la recharge dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou. Cette fluctuation pluviométrique amène à étudier les secteurs vulnérables aux extrêmes pluviométriques

du fait que la plupart des activités sont tributaires de l'eau.

2.9. Secteurs vulnérables à l'inondation et au développement agricole

Les figures 15 et 16 mettent en relief le niveau de vulnérabilité et les secteurs aux risques d'inondation dans la basse vallée de l'Ouémé.

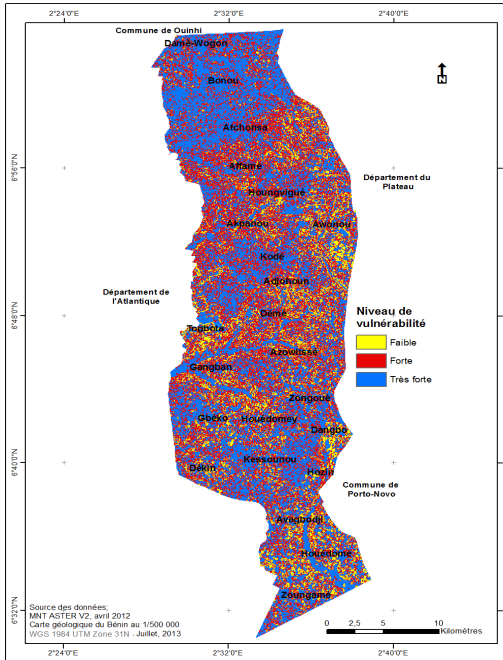


Figure 15 : Niveau de vulnérabilité dans la basse vallée de l’Ouémé à Bonou

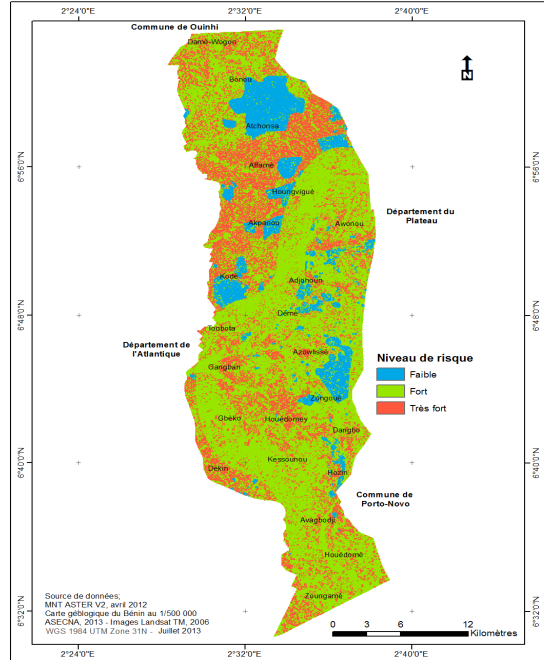


Figure 16 : Secteurs à risque d’inondation dans la basse vallée de l’Ouémé à Bonou

L’analyse de la figure 15 montre le niveau de vulnérabilité aux inondations. Ainsi, 47,55 % soit une superficie de 4279 m² sont faiblement vulnérables à l’inondation contrairement aux zones à forte et à très forte vulnérabilité, qui occupent respectivement une superficie de 3600 m² soit 39,99 % et 1121 m² soit 12,46 % de la vallée de l’Ouémé à Bonou.

Quant à la figure 16, elle n’est que la résultante de la carte des aléas et celle de la vulnérabilité afin de déterminer les zones potentiellement à risque d’inondation dans la vallée de l’Ouémé à Bonou. A cet effet, il ressort de son analyse, que les zones à faible risque couvrent 10,38 % soit 934 m², les zones à risque fort occupent 62,37 % soit une superficie de 5614 m² contrairement aux secteurs à risque très fort qui constituent les 27,25 % et qui s’étendent sur une superficie de 2452 m².

En somme, le risque d’inondation étant défini comme le croisement de l’aléa et à la vulnérabilité, il faut donc retenir qu’un aléa d’inondation fort dans une zone faiblement

vulnérable est fortement risqué. Les régions prédisposées à l’inondation sont aussi celles situées dans les secteurs de faible perméabilité et à pente ou faible, en contrebas des reliefs, où le réseau de drainage est dense (faible infiltration, concentration rapide des eaux) et où la densité de fracturation est faible. En somme les secteurs situés à l’ouest aux abords immédiats des cours d’eau sont très vulnérables à l’inondation en cas de hautes eaux et de fortes pluies.

Du reste, la prise de conscience de ces caractéristiques contribue à prendre des décisions efficaces et durables pour l’aménagement hydroagricoles dans la vallée de l’Ouémé à Bonou.

2.10 Principaux facteurs de la vulnérabilité des cultures et des récoltes aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes

Plusieurs facteurs expliquent la vulnérabilité agricole de la basse vallée l’Ouémé à Bonou. Il s’agit, entre autres, du calendrier agricole traditionnel calqué sur le régime pluvio-hydrologique du fleuve, de la situation

géographique de certaines localités dans le delta et des différents modes de conservation des récoltes.

Quant aux modes de conservation des récoltes, elles constituent un facteur important de la vulnérabilité agricole dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou. Le grenier traditionnel

représente le mode de conservation des récoltes le plus utilisé. Les matériaux de fabrication de ces greniers ne permettent pas une bonne protection des récoltes contre les inondations. La photo 1 montre les types de greniers utilisés dans le delta du fleuve Ouémé.



Photo 1 : Types de greniers de conservation des récoltes dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou / Cliché Vissin, 2008

Les types de greniers utilisés n'empêchent pas les eaux de pluie, surtout quand il s'agit des pluies extrêmes, de submerger une grande partie des récoltes conservées. En outre, en période de crue, les greniers sont envahis par la base détruisant ainsi une part importante des récoltes. Au total, la vulnérabilité agricole face aux pluies extrêmes et aux crues est d'autant plus renforcée que les techniques de conservation des récoltes sont rudimentaires. Mais, cette situation varie d'un secteur à un autre du delta du fleuve Ouémé.

2.11. Impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole

Les impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole de la basse vallée de l'Ouémé à Bonou sont de plusieurs ordres : perte de semis, perte de production et perte des récoltes. Les pertes de semis sont causées par les forts ruissellements provoqués par les pluies

violentes. Selon les producteurs, ces pertes ont souvent cours dans le delta au début de la première saison agricole dans le mois d'avril. Quant aux pertes de production, elles s'observent lors des inondations des champs provoquées par les eaux de ruissellement d'une part et par les eaux de crue du fleuve d'autre part. Dans les mois de juin, de juillet et d'août, les eaux de ruissellement envahissent les champs et détruisent les cultures (photo 4). De même, les cultures tardives sont souvent envahies par les crues dans les mois d'août et de septembre (Lanmouroux 1972, Houndagba, 1990, Agossa 1994, et Donou, 2007). Selon 72 % des populations enquêtées, la culture la plus vulnérable à la montée des eaux est le manioc dont les racines encore sous terre pourrissent avec la survenance des inondations. Les photos 2, 3 et 4 présentent respectivement les champs de maïs, de tubercules de manioc et des étangs piscicoles immergés par l'eau au cours de la période des hautes eaux.



Photo 2 : Champ de maïs inondé à Gbada
Prise de vue : Vissin, Novembre 2012



Photo 3 : Champ de manioc immergés à Kodé /
Prise de vue : Vissin, Novembre 2012



Photo 4 : Etang piscicole submergé de l'eau pendant la crue à Azowlissè
Prise de vue : Vissin, Novembre 2012

2.10. Stratégies d'adaptation et mécanisme de transmission des systèmes d'alerte à la prévention et à la gestion des risques hydroclimatiques dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou

Il s'agit des invitations aux prières collectives pour conjurer les mauvais sorts à travers les sacrifices après consultation de l'oracle du "Fâ" et la lutte contre les pluies provoquées. L'organisation des campagnes de reboisement, le réaménagement du calendrier agricole, l'adoption des cultures à cycle court et l'adoption du système de dragage des fleuves pour désensabler les chenaux navigables. Quant aux systèmes d'alerte précoce et de gestion, il n'existe pas de système d'alerte précoces proprement dit au Bénin Totin (2012). Certes, différentes institutions sont responsabilisées pour élaborées des produits de

vigilance et de contribuer à la prévention et à la gestion des risques hydroclimatiques. D'après les investigations, plusieurs techniques sont déployées pour la diffusion des alertes à l'intention des pouvoirs publics et des populations notamment celles qui vivent dans les zones à risques. La Direction Nationale de la Météorologie (DNM) fait connaître ses prévisions par le canal radio, de la télévision, des messages téléphoniques et électroniques. Outre ces canaux de transmission, elle informe aussi à partir des directions techniques décentralisées des municipalités. La Direction de Prévention et de Protection Civile (DPPC) relaie les informations par les radios privées, la presse écrite et les services décentralisés. Le système d'alerte sociotechnique est fondé sur les pratiques socioculturelles de gestion des contraintes climatiques et hydriques que

développaient les populations et sur les techniques que recommandent l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) et les organismes hydrologiques. Ces mesures s'inscrivent dans la réduction des vulnérabilités et de renforcement des capacités des populations afin d'accroître leur résilience aux impacts négatifs du changement climatique.

3. DISCUSSION

La variabilité climatique à laquelle sont confrontés les pays de l'Afrique subsaharienne dont le Bénin, constitue des facteurs qui augmentent le stress aussi bien chez les êtres humains, que tous les secteurs d'activités socioéconomiques. Et, ceci est due au fait que la plupart des activités sont inhérentes à l'eau. A cet effet, plusieurs travaux portant sur l'étude de la variabilité pluvieuse du domaine tropical africain ont montré qu'une « péjoration climatique » est intervenue sur le nord du Bénin à partir de la fin des années soixante (Pérard et Bokonon Ganta, 1993 ; Hernandez *et al* ; 1998 ; Houndénou, 1999 ; Vissin, 2007). Cette péjoration a été notamment marquée par une réduction de la durée et de l'intensité de la saison humide et par des « ruptures » pluviométriques répétées qui ont affecté la production agricole et induit d'importantes mutations socio-économiques. Les résultats de ces différents travaux sont en harmonies et corroborent avec ceux observés dans la vallée de l'Ouémé à Bonou par (Donou, 2007 et Vodounnon, 2008). Pour leur part, la basse vallée de l'Ouémé à Bonou a connu une rupture dans les séries pluviométriques et hydrométriques autour des années 1969-1971 avec 1970 comme année charnière. Une telle situation a eu des répercussions sur les ressources en eau accentuant la vulnérabilité

des populations avec des conséquences sensibles pour le développement local.

L'originalité de cette étude a montré qu'avec la variabilité climatique et hydrologique, ce secteur d'étude est confronté à une péjoration pluviométrique depuis 1970 mais aussi son écosystème a subi des mutations dues à la fluctuation climatique en accentuant la vulnérabilité des populations.

Les zones prédisposées à l'inondation sont celles situées dans les secteurs de faible perméabilité et à pente faible, en contrebas des reliefs, où le réseau de drainage est dense (infiltration faible, concentration rapide des eaux). De plus le risque à l'inondation est aussi maximal aux abords immédiats des cours d'eau. Certes, les stratégies développées par la population ont contribué un tant soit peu à la réduction de ces risques et elles doivent être couplées aux systèmes d'alerte que propose cette étude afin de réduire efficacement les impacts néfastes des risques hydroclimatiques.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, il faut noter que les événements pluvieux extrêmes sont marqués par une forte variabilité qui ont non seulement eu des répercussions sur le régime du fleuve mais aussi sur les activités socioéconomique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou. Face à cette situation, les stratégies développées par les populations ont été peu efficace, du fait d'un manque de synergie entre les acteurs scientifiques. Dans cette perspective, il faut la mise sur pied d'un système d'alerte précoce, aux fins d'anticiper sur les dangers éventuels des extrêmes hydroclimatiques dans le secteur d'étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AKOGNONGBE A.J., 2008. Caractérisation hydro pluviométrique avec le modèle GR4J sur le bassin de l'Ouémé supérieur à Savè et du Zou à Atchérigbé. Mémoire de maîtrise de Géographie. Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 96p.
2. AMOUSSOU E., CAMBERLIN P. et MAHE G., 2012. Impact de la variabilité climatique et du barrage Nangbéto sur l'hydrologie du système Mono-Couffo (Afrique de l'Ouest) in *Hydrological Sciences Journal*,

3. AMOUSSOU E., 2005. Variabilité hydroclimatique et dynamique des états de surfaces dans le bassin versant du Couffo. *DEA FLASH/UAC*, 105 pages
4. AMOUSSOU E., 2010. Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). *Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne*, 313 p.
5. BADOLO M., 2009. *Cahier des changements climatiques, Bulletin mensuel d'information sur les changements climatiques de l'Institut d'Applications et de Vulgarisation en science*, N°5
6. BOKO M., 1987. Etude sur la variabilité pluviométrique au Bénin. *Centre de Recherche de Climatologie, URA 909 du CNRS, Dijon.*, pp 41-50.
7. BOKONON-GANTA, E. B. 1987. Les climats de la région du golfe du Bénin (Afrique occidentale). *Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Paris IV Sorbonne*. 248 p.
8. BRICQUET J. P., BAMBA F., MAHE G., TOURE M., OLIVRY J. C., 1997. Variabilité des ressources en eau de l'Afrique Atlantique. *PHI-V*, 6, 83-95.
9. CCNUCC, 15^{ème} Conférence, 2009. Accord de Copenhague, du 7 au 18 décembre 2009 (Danemark)
10. CIRAD et GRET 2006. *Mémento de l'agronome. Ministère des Affaires Etrangères. CIRAD-GRET. Paris. Pp 780-790.*
11. DONOU, T. B. 2007. Dynamique pluvio-hydrologique et manifestation des crues dans le bassin du fleuve Ouémé à Bonou. *Mémoire de maîtrise de géographie. UAC/FLASH*. 104p.
12. FOFANA A. C. C., LAMINE D., PIERRICK G., 2007. Prévention des risques, in *Avenir du fleuve Niger, Chapitre 4, IRD pp*
12. GIEC, 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, Suisse 103 p.
13. HERNANDEZ K., HOUNDENOU C. et HOUSSOU C., 1998. Variabilité pluviométrique et stratégies paysannes au nord du Bénin, In *Publications de l'AIC, vol. 11, pp. 185-192.*
14. HOUNDAGBA C. J., 1990. Analyse d'un paysage de vallée : le cours inférieur de l'Ouémé (Bénin), in *'la dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest'*. AUPELF. Coopération française. Pp. 239-251.
15. HOUNDAKINNOU R., 2005. Fréquence des événements pluvieux extrêmes et leurs impacts environnementaux dans la ville de Cotonou. *Mémoire de DEA, UAC*. 60p.
16. HOUNDENOU C., 1999. Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide. L'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. *Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon, France*, 390 p.
17. HOUNDENOU C., AMOUSSOU E. et TOTIN V.S. H., 2008. Variabilité pluvio-hydrologique et inondation dans la basse vallée du Mono (Bénin, Afrique de l'Ouest) *In BenGéo, Revue semestrielle de Géographien*, 3, 5-22.
18. HUBERT P., CARBONNEL J.P., CHAUCHE A., 1989. Segmentation des séries hydrométriques. Application à des séries de précipitations et de débits d'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, 110, 349-367.
19. KODJA D. J., VISSIN E.W., AMOUSSOU E., 2012. Prévisibilité des hautes eaux avec le modèle conceptuel GR2M dans le bassin-versant du Zou au Bénin (Afrique l'ouest), in

Les climats régionaux : observation et modélisation, actes du XXV^{ème} colloque de l'association internationale de climatologie, Grenoble, 2012 pp

20. Le BARBE L., ALE G., MILLET B., TEXIER H., BOREL Y. et GUALDE R., 1993. *Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin*. Edition ORSTOM ; 540 p.

31. MAEP, 1999. Déclaration de politique du développement rural. *MAEP*. 120p.

32. OGOUWALE E., 2004. Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional. *Mémoire de DEA. UAC*. 79p.

33. OMM, 2006. Gestion intégrée des crues : aspects sociaux et participation des parties prenantes. *APFM, politiques de gestion des crues*. 106 P.

34. PERARD J. et BOKONON E. B., 1993. Variabilité pluvieuse et mutations socio-économiques dans le Haut Borgou (Nord-Bénin). In Publication de *l'Association Internationale de Climatologie*. Lannion, pp 163-171.

35. PGIB, 2003. Pluies extrêmes et crues.

Programme Mondial de Recherches sur le Climat (PIGB-PMRC). *Lettre n°16*. 10 p.

36. SALEY M.B., KOUAME K.F., PENVEN M.J., BIEMI J. & KOUADIO B.H., 2005. Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région semi-montagneuse à l'Ouest de la Côte d'Ivoire : Apports des MNA et de l'imagerie satellitaire. *Téledétection, Vol 5, n°1-2-3, pp. 53-67*.

37. TOTIN V. S. Henri, 2012. *Analyse de l'existant en matière de systèmes d'alerte et de produits de vigilance face aux risques climatiques en Afrique Subsaharienne*, ACMAD, 221 pages

38. VISSIN E.W., 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. *Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon, France, 280 p*.

39. VODOUNNON A. J., 2008. Contribution à l'étude de la caractérisation hydropluviométrique du bassin de l'Ouémé avec le modèle GR2M. *Mémoire de maîtrise de géographie, DGAT/FLASH/UAC, 83 pages*.