Revue de géographie du Laboratoire Leïd

Dynamiques des territoires et développement

N° 10

Déc. 2012

ISS808512515

Université Gaston Berger – Sénégal

2000 FCFA

www.univi.net/rgll
www.laboleidi.com

Sensibilité de l'écoulement au forçage pluviométrique dans le bassin versant du Zou à Atchérigbé au Bénin, Afrique de l'Ouest

KODJA D. Japhet[1], AINA Martin[2], VISSIN Expédit. W[1]., AMOUSSOU Ernest[1]
1. LABORATOIRE PIERRE PAGNEY : CLIMAT, EAU, ECOSYSTEMES ET DEVELOPPEMENT (LACEEDE).
Université d'Abomey-Calavi. BP 1338, Abomey-Calavi, République du Bénin. Courriel : conforlad@yahoo.fr, exlaure@yahoo.fr, ajernest@yahoo.fr
2. Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau de l'École Polytechnique d'Abomey Calavi. Université d'Abomey Calavi 01 BP 2009 Cotonou.

Résumé

Cette étude vise à analyser les modifications induites par la variabilité pluviométrique sur le comportement hydrologique du bassin-versant du Zou à Atchérigbé en République du Bénin sur la période 1951 à 2003. Les données climatologiques (pluie, ETP) et les données hydrométriques telles que les écoulements moyens du bassin de la période 1960 à 2003 sont utilisées pour étudier la variabilité. Il ressort des différentes analyses que la variabilité pluviométrique a un impact beaucoup plus important sur l'écoulement que sur la recharge et l'évaporation. Cette situation confirme que les fluctuations hydrologiques sont sensibles au forçage pluviométrique au cours de ces dernières décennies, notamment en région du socle.

Mots clés : Bassin du Zou Atchérigbé, écoulement

Abstract

This study aims at analyzing the modifications induced by the pluviometric variability on the hydrological behavior of the basin-slope of Zou with Atchérigbé in Republic of Benin over the period 1951 to 2003. The climate data (rain, ETP) and the hydrometric data such as the average flows of the basin of the period 1960 to 2003 are used to study variability. It arises from the different analyzes that of rainfall variability has an impact much more significant on the flow than on the recharge and evaporation. This situation confirms that the hydrological fluctuations are sensitive to rainfall forcing in recent decades, particularly in the pedestal region

Key words : Basin of Zou Atchérigbé, flow

1. Introduction

L'eau est considérée comme l'un des éléments déterminants pour une Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE). Elle requiert une bonne connaissance des régimes hydrologiques surtout en Afrique subsaharienne ou les précipitations ont de très fortes variations saisonnières et interannuelles. Aussi le réchauffement climatique actuel de la planète a sans

équivoque des répercussions sur le régime pluviométrique et hydrologique des cours d'eau (GIEC, 2007).

Face à cette impasse, l'un des défis majeurs de la communauté scientifique depuis une dizaine d'années est de s'investir sur l'étude du changement climatique et les manifestations extrêmes susceptibles d'impacter le cycle de l'eau. A cet effet, l'analyse des chroniques de pluies révèle des ruptures de stationnarité (ARDOIN-BARDIN, 2004.) dont la plus récente se situe vers 1970 (VISSIN, 2007 ; AKOGNONGBE, 2008). Après 1970, une baisse sensible de la pluviométrie est constatée avec des modifications sur le régime hydrologique et sur la production agricole (TABSOPBAT, 1997).

L'objectif de cette recherche est d'étudier la sensibilité des systèmes hydrologiques au forçage pluviométrique et d'analyser son influence sur le régime hydrologique du bassin versant du zou à Atchérigbé. Cette étude vise donc à contribuer à la bonne gestion des ressources en eau disponible sur le dit bassin.

Le bassin du Zou à Atchérigbé couvre en moyenne une superficie de 6950 km^2. Il est compris entre 7°14'30'' et 8°33'52'' de latitude nord et 1°30'58'' et 2°13'32'' de longitude est (IMPETUS : Atlas hydrographique du Bénin).

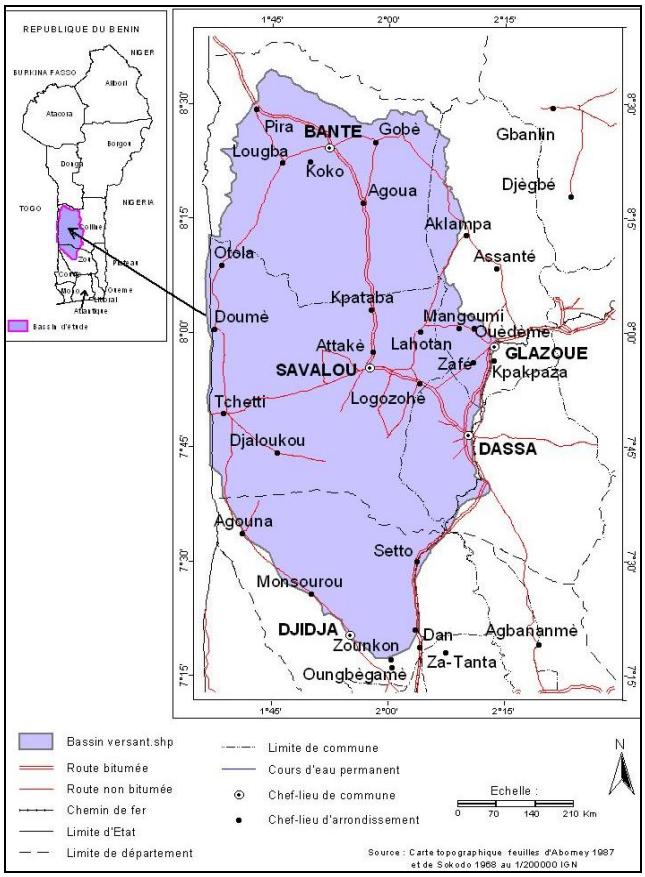

Figure 1. Situation du bassin versant du Zou à Atchérigbé

Le bassin du Zou à Atchérigbé est compris entre 7°14'30'' et 8°33'52'' de latitude nord et 1°30'58'' et 2°13'32'' de longitude est et couvre en moyenne une superficie de 6950 Km^2.

Il est caractérisé par un climat intermédiaire entre le climat subéquatorial de la côte et le climat soudano sahélien du nord Bénin. il est installé sur le socle précambrien, dahoméen composé du gneiss et du granite avec des formations du Continental terminal (sablo-argileux) à l'aval du bassin.

La structure du relief influence l'écoulement et les cours d'eau sont fortement encaissés, avec une pente faible qui témoigne du comblement dans le lit du cours d'eau.

2. Donnée et méthodes

2.1. Données

Elles concernent les données relatives à la pluie (1951 à 2003) et de l'ETP de 1965 à 2003) de la station de Savè collectées à l'ASECNA et au LACEEDE.

Les données hydrométriques sont collectées au Service de l'Hydrologie de la Direction Générale de l'Eau (SH/DG-Eau) et constituent les débits journaliers. Elles proviennent des stations d'Atchérigbé sur la période 1960-2003.

2.2. Méthodes

Les données manquantes ont été reconstituées dans la série des données pluviométriques et hydrométriques. Les données pluviométriques étant reconstituées, le champ de pluie a été déterminé avec la méthode de régression linéaire multiple.

2.2.1. Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique est utilisée pour étudier les régimes pluviométrique et hydrologique aux différentes stations du bassin versant du Zou à Atchérigbé. C'est le paramètre fondamental de tendance centrale, représentée ici par la «normale», moyenne calculée sur une série de quarante trois ans pour les débits observés et cinquante deux ans pour la pluviométrie.

Elle s'exprime de la façon suivante : $\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} xi$ Elle a permis, de caractériser l'état hydro climatique moyen et de calculer les écarts centrés réduits.

2.2.2. Écarts centrés réduits

Cette démarche vise à normaliser (standardiser) les données à l'aide d'une transformation centrée réduite qui consiste simplement à centrer les données xi par rapport à leur moyenne $\bar{x}$, et à les réduire par rapport à l'écart-type σx : $xi \rightarrow zi = \frac{x - \bar{x}}{\sigma x}$

Avec :

x, *la valeur de la variable ;* $\bar{x}$, *la moyenne de la série ;* σx, *l'écart type de la série*

L'utilisation de valeurs normalisées permet de cibler les années humides ou excédentaires et les années sèches ou déficitaires de la série étudiée d'où l'étude des tendances et de la rupture de stationnarité.

2.2.3. Étude des tendances et la recherche de ruptures de stationnarité

Elle a consisté premièrement à calculer des moyennes mobiles sur cinq ans qui donnent des séries hydrologiques et climatiques lissées sur les différentes stations du bassin aux pas de temps mensuel ou annuel.

2.2.3.2. Régression linéaire simple

Elle montre l'évolution linéaire sur le long terme et permet de détecter les tendances dans les séries hydro-pluviométriques. Toutefois, il faut aussi rechercher d'éventuelles « ruptures » de stationnarité, la « rupture » étant définie par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné (LUBES et al., 1994).

1.2.3.3. Recherche de ruptures de stationnarité

La détection des ruptures dans les séries pluviométriques a été faite sur l'interface du logiciel Khronostat 1.01 à travers ses différentes fonctions, en particulier le test de Pettitt. Ce test par sa robustesse à détecter une rupture dans les séries chronologiques a été utilisé pour l'étude des fluctuations de variables hydrométéorologiques (DEMARÉE et NICOLIS, 1990 ; LUBÈS *et al*., 1994 ; SERVAT *et al*., 1999). L'absence de rupture dans une série (Xi) de taille N constitue l'hypothèse nulle H0. La mise en œuvre de ce test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques xi, i=1, t et xj, j=t+1, N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable Ut, N définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{N} D_{ij}$$

Où

$$D_{ij} = \mathrm{sgn}(X_i - X_j) \text{ avec } \mathrm{sgn}(x) = 1 \text{ si } x > 0, 0 \text{ si } x = 0 \text{ et -1 si } x < 0$$

A partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si k désigne la valeur KN prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur k est exprimée approximativement par :

$$\Pr ob(K_N > k \approx 2\exp(-6k^2/(N^3 + N^2))$$

H0 est rejetée pour un risque α de première espèce donnée, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à α. La série comporte alors une rupture localisée au moment où est observé max | Ut,N | t=1,N-1.

Le test de Pearson, est utilisé pour mesurer le degré de significativité des tendances et des ruptures de stationnarité dans les séries pluviométriques et hydrométriques du bassin du Zou à l'exutoire de Atchérigbé.

Pour mieux apprécier le lien qui existe entre la pluie et la lame d'eau écoulée, le coefficient de corrélation a été étudié.

2.2.3.4. Coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation linéaire a été utilisé pour mesurer le degré de liaison ou de dépendance qui existe entre les lames précipitées et les lames écoulées dans le bassin-versant du Zou à l'exutoire de Atchérigbé. Il est défini par : $r = \frac{\frac{1}{N}\sum(x_i - x)(y_i - \bar{y})}{\sigma(x).\sigma(y)}$

où N est le nombre total d'individus ; xi et yi, les valeurs des séries ; x et y sont les moyennes des variables ; s (x) et s (y) représentent leurs écarts-types.

Le coefficient de détermination *R* est obtenu par : $R = r^2$

Cette étude a abordé une analyse sur la variation de l'écoulement afin de mieux apprécier le fonctionnement hydrologique du bassin.

2.2.4. Détermination de l'écoulement et variation du déficit et du coefficient d'écoulement

Écoulement. En hydrologie de surface, le terme d'écoulement concerne exclusivement la circulation de l'eau dans le réseau hydrographique. Il s'agit d'un phénomène qui peut se quantifier par des mesures directes de débits. Sa formule est : $L = \frac{Q}{S} \times t \times 10^{+3}$

Avec L= écoulement (mm) ; Q = débit (m^3/s) ; t = le temps ; S) superficie du bassin (km^2)

Déficit d'écoulement (DE). Le déficit d'écoulement représente la différence entre les précipitations (P) tombées sur le bassin-versant et le volume d'eau $(\int Qdt)$ écoulée à l'exutoire : $DE = P - \int Qdt$

Coefficient d'écoulement. Il a été déterminé à partir de la formule : $C = \frac{L}{P} \times 100$

Avec *L* = écoulement (mm) et *P* = hauteur de pluie (mm).

Il traduit la relation entre les pluies et les écoulements (MAHÉ et OLIVRY, 1995) et permet aussi d'analyser le rôle joué par le substratum géologique du bassin considéré.

2.2.5. Comparaison des déficits entre deux sous-périodes différentes

Cette méthode vise à évaluer et comparer le déficit entre deux sous-périodes pluvio-hydrologique dans le bassin-versant du Zou à Atchérigbé. Il s'exprime à partir de la formule suivante :

$$Def = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\bar{X}_1} \times 100$$

Avec : $\bar{X}_1$ *, la moyenne de la première sous-période en un temps t1 ;* $\bar{X}_2$ *, la moyenne de la seconde sous-période en un temps t2.*

Ainsi pour mettre en évidence la disponibilité en eau sur le bassin, il importe d'étudier le bilan climatique.

2.2.6. Bilan climatique

Il traduit la succession d'excédents et de déficits en eau dans le complexe. Ainsi, le climat devient sec quand les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible (HUFTY, 1976, repris par Le bilan climatique (Pu) exprime donc la différence entre la somme des abats pluviométriques (P) et celle de l'évapotranspiration potentielle (VISSIN, 2007): $Pu = P - ETP$. Ainsi :

-le bilan climatique est excédentaire, si P > ETP ;

-le bilan est déficitaire, si P < ETP ;

-le bilan est équilibré quand P = ETP.

Lorsqu'il est positif, le surplus disponible participe à la recharge en eau du sol et à l'écoulement (SUTCLIFFE et PIPER, 1985 ; VISSIN 2007). Il a été calculé à partir des valeurs moyennes de P et ETP de l'ensemble du bassin-versant entre 1965 à 2003.

L'ETR a été calculée au cours de cette étude afin d'évaluer la quantité d'eau présente dans le sol à l'échelle du bassin versant du Zou à Atchérigbé. La méthode retenue, est essentiellement développée par le Service de la Météorologie Nationale(SMN) du Bénin et utilisée par Amoussou (2010). Ainsi, l'ETR s'obtient par la formule : $ETR = \alpha ETP$

L'ETR correspond à la perte en eau d'un sol quand l'eau vient à manquer : l'ETR est fonction de l'ETP et de la quantité d'eau présente dans le sol. Mais, en surface d'eau libre, elle est proche de l'ETP et dépend notamment des propriétés physique et géométrique de cette surface, c'est-à-dire l'étendue et la profondeur.

Le coefficient α qui traduit la disponibilité en eau dans les premiers horizons du sol est très souvent inférieur à 1. Il faut, pour l'exprimer de façon rigoureuse, connaître à la fois le stock d'eau présent dans le sol et les résistances opposées par le système sol/végétation à l'évaporation.

Ainsi, nous pouvons adopter l'hypothèse de SUTCLIFFE et PIPER (1986), à savoir :

- ✓ si $Pi > ETPi$ $\alpha = 1$, ou Pi = pluie mensuelle en mm ;
- ✓ si $Pi < ETPi$ $\alpha = \frac{Pi}{ETPi}$, $ETPi$ = Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm.

La méthode utilisée est très approximative lorsqu'elle s'applique à l'échelle mensuelle. Toutefois, à l'échelle annuelle, il y a compensation entre les erreurs de début et de fin de saisons des pluies, qui résultent respectivement d'une surestimation (quand se reconstituent les réserves en au du sol que la végétation reprend) et d'une sous-estimation (à cause du prélèvement opéré dans les réserves d'eau dans le sol) de l'ETR.

L'essentiel des termes étant défini, le calcul du bilan hydrologique a été étudié la compréhension du fonctionnement hydropluviométrique du bassin.

2.2.7. 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 a permis 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 Barbe *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 ; S1 - S0 = variation du stock d'eau présent dans le bassin en mm pendant une période donnée.

Des cinq termes de cette équation, deux (I et S1 - S0) ne sont pas quantifiables par des mesures directes. Pour diminuer le nombre d'inconnues, nous avons choisi la période de façon à ce que la variation (S1 - S0) puisse être supposée négligeable et de travailler en année hydrologique déterminée par la date des étiages absolus, dans cette région. Travailler sur une année hydrologique permet de minimiser des erreurs dans la variation du stock d'eau du bassin et cela facilité l'estimation de l'infiltration. L'infiltration (I) varie selon le sol et la quantité de pluie tombée Amoussou (2007). Il est donc nécessaire d'estimer ce paramètre. Ainsi, l'analyse du paramètre infiltration peut permettre de suivre l'évolution de la recharge de la nappe dans le bassin-versant du complexe. Elle s'écrit : $\boldsymbol{I = P - (E + L)}$

Avec I : infiltration en mm ; P : pluie en mm ; L : écoulement en mm ; E : évaporation en mm.

L'ensemble des données et méthodes ont permis d'obtenir les résultats ci-dessous.

3. Résultats

3.1. Évolution interannuelle de la pluviométrie sur le bassin du Zou à l'exutoire d'Atchérigbé

La figure 2 présente l'évolution interannuelle des hauteurs de pluie sur le bassin du Zou-Atchérigbé de 1951 à 2003.

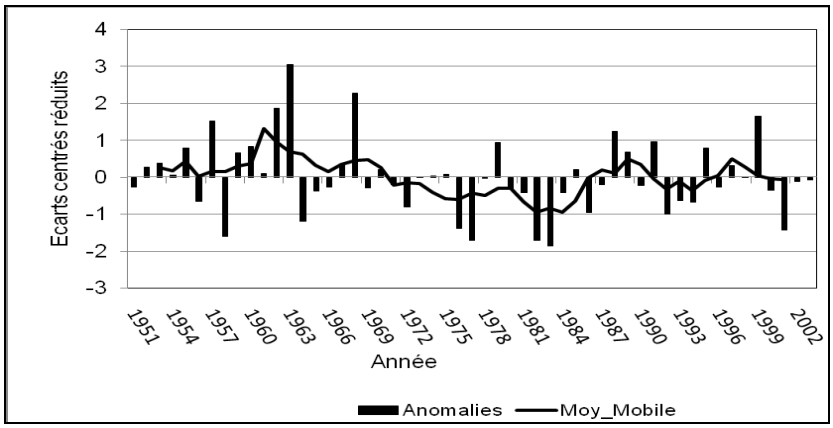

Figure 2. Évolution interannuelle des hauteurs de pluie sur le bassin du Zou-Atchérigbé de 1951 à 2003

L'analyse de l'évolution interannuelle des pluies dans le bassin du Zou à Atchérigbé sur la figure 2 a permis d'identifier deux grandes périodes sur la période 1951 à 2003. Il s'agit d'une part, la sous-période 1951 à 1970 caractérisée par les anomalies positives et d'autre part la période 1971 à 2003 représentant la période de la récession pluviométrique avec une dominance des anomalies négatives.

On note, au cours de la période couvrant la baisse de la pluviométrie des années caractérisées par une récession pluviométrique dont les plus remarquables sont les années 1976, 1977, 1982, 1983 et 1986 à Atchérigbé. Ce qui illustre la recrudescence sensible de la sécheresse constatée durant les années 1977, 1983 et 1986. Malgré la poursuite de cette récession, la sécheresse a connu des variations en intensité et en étendue au cours des années (Vissin, 2007).

Toutefois, une analyse est faite sur la rupture pluviométrique afin de mieux apprécier l'évolution interannuelle de la pluviométrie sur le bassin du Zou à l'exutoire d'Atchérigbé,

3.1.2. Détection de la rupture pluviométrique avec les données de la station de synoptique de Savè

Les figures 3 et 4 présentent respectivement la rupture de la pluviométrique et le test de significativité sur la station synoptique de savè.

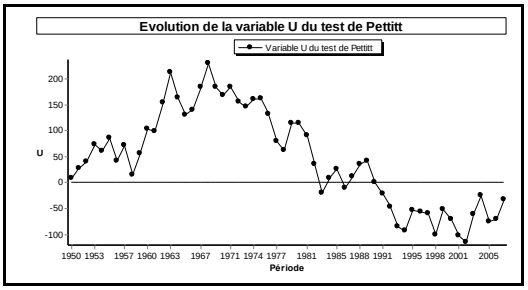

Figure 3. Rupture de la pluviométrie sur la station synoptique de Savè suivant le test de Pettitt

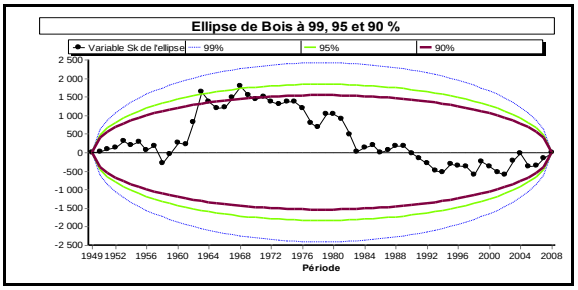

Figure 4. Test de significativité pour la rupture pluviométrique sur la station synoptique de Savè

L'analyse de la figure 3 montre que sur la période 1950 à 1969, il y a une hausse pluviométrique à la station de Savè et dès 1970 il y a une légère rupture pluviométrique jusqu'à 2001 traduisant ainsi une baisse pluviométrique.

Quant à la figure 4, son analyse révèle que la rupture de stationnarité pluviométrique détectée sur la station de Savè est significative à 95 %. Cependant cette baisse est suivie d'une légère reprise vers 1996. Cette variabilité des lames d'eau précipitées ajoutée à beaucoup d'études antérieures sur la variabilité spatio-temporelle des précipitations en Afrique de l'Ouest (HUBERT et *al.*, 1989 ; MAHÉ et OLIVRY, 1995 ; BRICQUET et *al.*, 1997 ; SERVAT et *al.*, 1999) et à l'échelle du bassin du Zou à Atchérigbé Akognongbe (2008), 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 4, l'évolution interannuelle des hauteurs de pluie est étudiée sur le bassin du Zou à Atchérigbé suivant les sous périodes 1951-1970 et 1971-2003.

Pour apprécier la variabilité pluviométrique à l'échelle d'un bassin versant, il est important d'étudier son évolution mensuelle.

3.1.3. Variabilité pluviométrique mensuelle et l'évolution interannuelle de l'ETP sur le bassin du Zou à l'exutoire d'Atchérigbé

Les figures 5 et 6 représentent la variabilité pluviométrique mensuelle et l'évolution interannuelle de l'ETP sur le bassin du Zou-Atchérigbé.

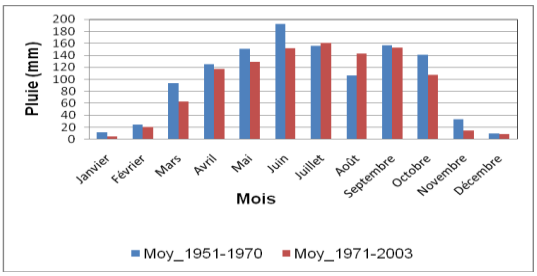

Figure 5: Variabilité pluviométrique mensuelle à Atchérigbé de 1951-2003

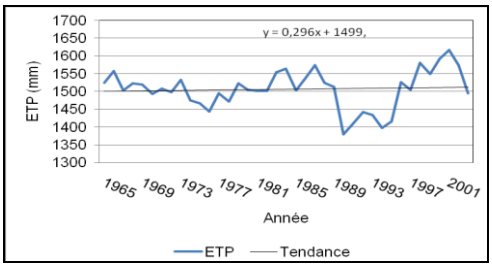

Figure 6 : évolution de l'évapotranspiration de la station de Savè sur la période 1965-2003

L'analyse de la figure 5 montre que par rapport à la sous-période 1951-1970, il y a une diminution des pluies de tous les mois de la sous-période 1971-2003 à l'exception des mois de juillet et août. Cette baisse de la pluie mensuelle varie de septembre à juin avec les plus fortes baisses enregistrées en mars et juin. Ainsi, des deux sous-périodes, la baisse de la pluie est de 10,64%, ce qui témoigne que la sous-période 1951-1970 est plus humide que la sous-période 1971-2003. Les mois les plus secs sont décembre, janvier, février, mars.

On retient que la sous-période 1951 à 1970 est la période de la hausse pluviométrique avec un optimum de 192,72 mm en juin tandis que la sous-période 1971 à 2003 correspond à la récession pluviométrique avec comme maximum 160,3 mm en juillet.

L'analyse de la figure 6 quant à elle, révèle une tendance à la hausse de l'ETP à partir de 1972. Cette évolution serait source de l'augmentation de la température avec pour conséquence la baisse de l'humidité. Cette baisse de l'humidité, confirme l'analyse de la figure 6 au cours de la sous période 1971 à 2003.

À cet effet, Une étude du bilan climatique est faite pour évaluer les effets de la péjoration pluviométrique sur les ressources en eau dans le bassin-versant du Zou à Atchérigbé.

3.2. Évolution du bilan climatique sur le bassin du Zou à l'exutoire d'Atchérigbé

Le bilan climatique est la différence entre les abats pluviométriques et l'évapotranspiration.

La figure 7, présente l'évolution du bilan climatique durant les sous-périodes 1965-1970 et 1971-2003 sur le bassin du Zou à Atchérigbé.

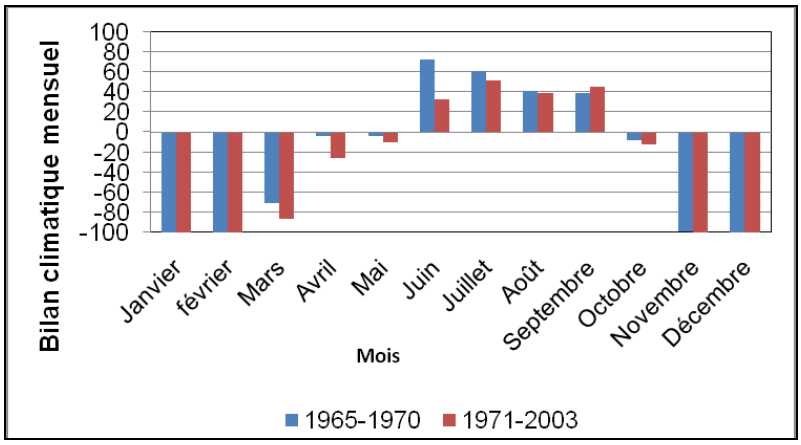

Figure 7. La variabilité du bilan climatique sur les sous-périodes 196561970 et 1971-2003

On retient de l'analyse de la figure 7 que le bilan climatique est excédentaire sur la sous-période 1965-1970 (sous période humide) et déficitaire sur la période 1971-2003 (sous-période sèche). On note que sur les deux sous périodes les mois de juin, juillet, août et septembre sont les plus humides. Cependant, les surplus d'eau ont diminué de 29,41 % entre 1971-2003 par rapport à la sous-période 1965-1970. Cette diminution est plus marquée en juin avec un taux de 54,50 %.

Aussi, en plus de la pluviométrie, l'évapotranspiration est l'un des paramètres climatiques jouant un rôle prépondérant dans la disponibilité des ressources en eau.

Avec ces observations, la variabilité des écoulements est étudiée pour mieux cerner l'influence du climat et les contraintes auxquelles est confronté l'écoulement sur le bassin du Zou à Atchérigbé.

3.3 Variabilité des écoulements moyens mensuels et interannuels

Les figures 8 et 9 illustrent la variation de l'écoulement interannuel moyen et mensuel sur le bassin-versant du Zou à Atchérigbé de1960-1970 et de 1971-2003.

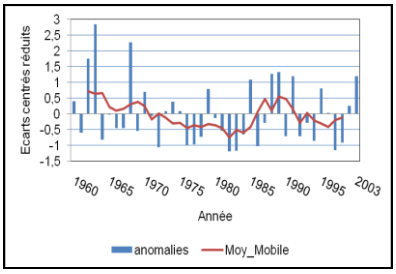

Figure 8. Évolution interannuelle de l'écoulement à Atchérigbé sur 2 sous-périodes (1960-2003)

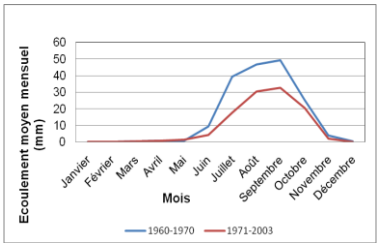

Figure 9. Régime mensuelle de l'écoulement moyen à Atchérigbé sur 2 sous-périodes (1960-2003)

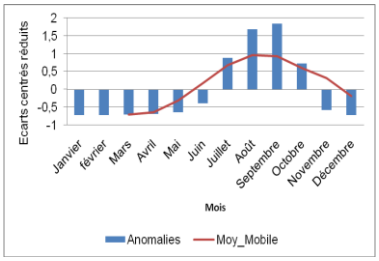

Figure 10. Évolution mensuelle moyen de l'écoulement à Atchérigbé sur 2 sous-périodes (1960-2003)

De l'analyse des figures 8 et 9, on note que l'écoulement est important à Atchérigbé au cours de la décennie 1960-1970. Il connaît une diminution pendant la phase de récession pluviométrique de 1971-2003. On constate que Atchérigbé est caractérisé par d'importants écoulements au cours des années 1963, 1968. Ainsi, Les années 1963 (435,06 mm), 1968 (408,87 mm) ont été des années marquées par une forte crue. Les années 1972, 1976, 1977, 1978, 1990, 2001 ont été les années de faible écoulement ce qui confirme que ces années sont vraiment sèches à Atchérigbé avec un écoulement qui varie de 21,53 mm à 73,65 mm.

Quant à la figure 10, l'analyse montre qu'au cours des mois de juillet, août, septembre et octobre des anomalies positives d'une part, et des anomalies négatives de novembre à juin d'autre part. Les mois dont les anomalies sont positives témoignent que c'est les mois les plus humides avec un écoulement élevé en septembre tandis que les mois de novembre à juin présentent des anomalies négatives qui prouvent que c'est des mois secs.

Compte tenu de la baisse pluviométrique observée après les années 1970, le déficit d'écoulement étudié a permis de mieux cerner les mois dont l'écoulement est déficitaire ou excédentaire.

3.3.1. Variation du déficit d'écoulement

La figure 11 traduit l'évolution mensuelle de déficit d'écoulement dans le bassin du Zou à Atchérigbé suivant les deux sous-périodes.

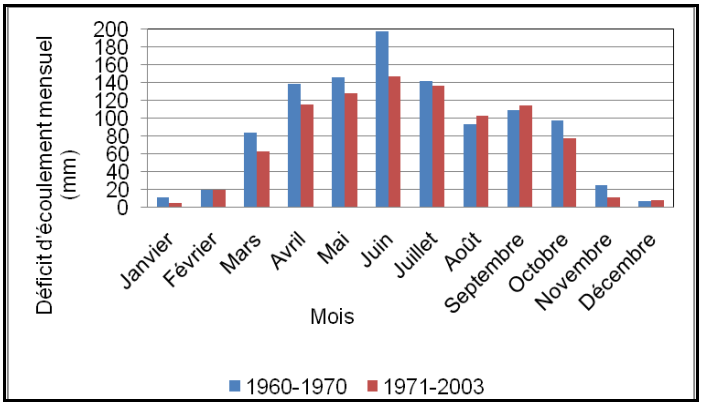

Figure 11.Variation mensuelle du déficit d'écoulement moyen à Atchégbé sur les deux sous-périodes

L'analyse de la figure 11, montre que à la station hydrométrique de Atchérigbé et par rapport à la sous-période 1960-1970, le déficit d'écoulement est en baisse sur tous les mois de la sous-période 1971-2003 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 mars et juin. Ainsi, des deux sous-périodes, le déficit d'écoulement est de 12,95 %, ce qui témoigne que la sous-période 1960-1970 a un déficit d'écoulement plus prononcé que la sous-période 1971-2003 dont le déficit d'écoulement est faible).

On retient donc 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.

3.3.2. Variation interannuelle du coefficient d'écoulement dans les sous-bassins sur la période 1960-2003

Le coefficient d'écoulement est un paramètre qui traduit la capacité de ruissellement d'un bassin. Selon MAHÉ et OLIVRY (1995), il évolue suivant les variations climatiques et montre les écarts de variation entre la pluie et les écoulements.

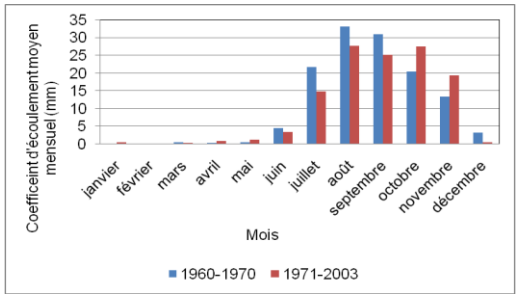

Figure 12. Variation mensuelle du coefficient d'écoulement moyen à Atchérigbé sous les 2 sous-périodes

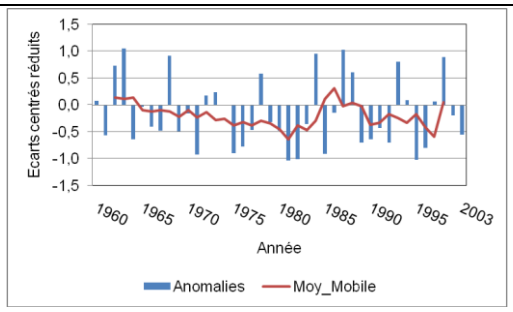

Figure 13. Variabilité interannuelle du coefficient d'écoulement à Atchérigbé

L'analyse de la figure 12 montre que sur les deux sous-périodes, les mois de juillet, août, septembre, octobre et novembre ont un coefficient d'écoulement remarquable dont le plus élevé est enregistré au cours du mois d'août. Cela traduit que ces mois sont des mois plus humides à Atchérigbé. On note également que les coefficients d'écoulement au cours des mois de décembre à mai sont faiblement représentés et quasi nuls à Atchérigbé, ce qui permet de confirmer que ces mois sont des mois déficitaires (mois secs).

La figure 13 quant à elle, montre également que le coefficient de l'écoulement est important à Atchérigbé au cours de la décennie 1960-1970 et de façon générale, Il connaît une diminution pendant la phase de récession pluviométrique de 1971-2003. Les années 1963, 1968, 1979, 1988 ont connus de fortes crues tandis que les années 1970, 1974, 1983, 1993 et 2000 ont été vraiment sèches à Atchérigbé.

L'étude du bilan hydrologique dans le sous bassin du Zou à l'exutoire d'Atchérigbé a permis de mettre en relief l'impact des fluctuations climatiques sur l'écoulement et la recharge.

3.4. Variation des termes du bilan hydrologique à Atchérigbé.

Le bilan hydrologique est la balance comptable entre les entrées et les sorties. La pluie est déterminante pour toute étude du bilan hydrologique notamment à l'échelle d'un bassin versant.

La figure 14 met en évidence la variabilité interannuelle du bilan hydrologique à Atchérigbé de 1965 à 2003.

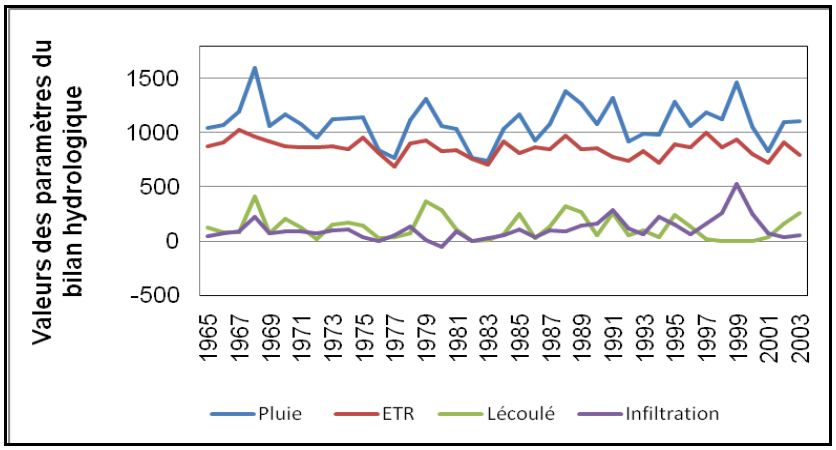

Figure 14: Variabilité interannuelle du bilan hydrologique à Atchérigbé sous les trois sous périodes

L'analyse de la figure 14 montre que la lame d'eau précipitée est un élément très important qui influence les autres termes du bilan hydrologique dans le bassin du Zou à Atchérigbé. Ainsi pour une pluie de 1592,7 mm, il est enregistré un écoulement de 408,87 mm en 1968 ; en 1977 pour une lame d'eau précipitée de 771,2 mm, l'écoulement enregistré est de 35,14 mm. Pour une pluviométrie de 739,7 mm, il est enregistré un écoulement de 7,83 mm ; en 1983. Cette remarque prouve bien que l'écoulement est sensible au forçage pluviométrique.

En ce qui concerne la mise en évidence de l'ETR, on remarque qu'elle évolue quasiment au rythme de la pluie. On peut donc dire que toute eau précipitée se dissipe après par évaporation suivant le cycle de l'eau.

Quant à la lame d'eau écoulée, elle a tendance à garder une certaine stationnarité durant toute la période et varie très peu tandis que l'infiltration affiche presque la même dynamique que l'évolution de la pluie sur le bassin du Zou à Atchérigbé.

L'étude de la corrélation entre les différents paramètres du bilan hydrologique a permis de mieux cerner la dépendance qui existe entre eux.

3.4.1. Analyse de la corrélation entre les différents termes du bilan hydrologique à Atchérigbé

Le tableau I expose la corrélation entre les différents termes du bilan hydrologique sur le bassin du Zou à Atchérigbé.

Tableau 1. Corrélation entre les différents termes du bilan hydrologique sur le bassin du Zou à Atchérigbé de 1965 à 2003.

	Pluie	ETR	Lame écoulée	Infiltration
Pluie	1			
ETR	0,628*	1		
Lame écoulée	0,587*	0,232	1	
Infiltration	0,521*	0,103	0,039	1

Significative à 95 %

On retient de l'analyse du tableau I, qu'à Atchérigbé, la valeur de la corrélation entre la pluie et l'ETR est de 67,3 %, la pluie et la lame écoulée 66,3 %, puis entre la pluie et l'infiltration 54,2 %. Le seuil de significativité de ces différentes corrélations avec la table de Pearson est de 95 %. Ceci explique bien qu'il y a une interdépendance entre la pluie et l'écoulement d'une part, la pluie et l'ETR, et entre la pluie et l'infiltration d'autre part. La corrélation entre la pluie et la lame d'eau écoulée est supérieure à 60 %. Ceci illustre que la pluie est un facteur déterminant qui influence l'écoulement.

En général, la pluie est un facteur prépondérant des quatre paramètres du bilan hydrologique qui conditionne l'écoulement et l'infiltration. Cependant, l'infiltration dépend de la nature du sol et du couvert végétal d'où les faibles valeurs de corrélation entre l'infiltration et la lame écoulée (11,4 %).

Malgré les corrélations observées entre les termes du bilan hydrologique, les fluctuations pluviométriques ont certainement engendré des déficits dont il importe d'étudier leur tendance.

4. Discussion

Le fonctionnement hydropluviométrique du bassin du Zou à Atchérigbé est caractérisé par des périodes de récession pluviométrique dont les plus remarquables sont les années 1976, 1977, 1982, 1983 et 1986 à Atchérigbé ce qui atteste les conditions déficitaires sur la zone ouest africaine (LEROUX, 1970 et 1988 ; OLIVRY, 1993 ; LE BARBÉ et *al*., 2002 ; VISSIN *et al.*, 2003). Le bassin du Zou à Atchérigbé étant situé en majeur partie sur le socle précambrien, les résultats ont montré que la dynamique de l'écoulement est liée à la pluie ce qui se justifie par le coefficient de corrélation supérieur à 60 %, valeur significative à 95 % avec le test de Pearson.

Au terme de cette étude, on constate que la baisse de la pluviométrique après 1970 a eu des répercussions sur les écoulements sur le bassin versant du Zou à Atchérigbé. L'étude du bilan hydrologique abordée a confirmé que la pluie est un facteur prépondérant des quatre

paramètres du bilan hydrologique qui conditionne l'écoulement et l'infiltration. Aussi, la nature du substratum géologique du bassin versant qu'est le socle influence l'écoulement.

Il ressort des différentes analyses de façon générale que les écoulements sont sensibles au forçage pluviométrique malgré le rôle du substratum géologique. Mais il devient urgent de coupler à cette étude, les autres facteurs liés à l'état de surface afin de mieux apprécier les éléments qui influencent l'écoulement à l'échelle des bassins versant.

Références bibliographiques.

AKOGNONGBE A.J., 2008 : Caractérisation hydropluviométrique avec le modèle gr4j sur le bassin de l'Ouémé supérieur a Savè et du zou a Atchérigbé. Mémoire de maîtrise de géographie, DGAT/ FLASH/ UAC, 96 pages.

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 de l'Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie CNRS-UMR 5210, 313 pages.

Amoussou E., Oyédé L. M. et Boko M., 2007. Variabilité pluviométrique et flux de turbidité dans le complexe Chenal Ahô-lac Ahémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). Actes du XX ème colloque AIC. In ''Climat, Tourisme et Environnement'' de Carthage, Tunisie, pp 81-86.

Ardoin-Bardin S., 2004. Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat Universté Montpellier II. 440 p.

BRICQUET J.P., BAMBA F., MAHE G., TOURE M., OLIVRY J.C., 1997. Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. Rev. Sci. L'eau, pp. 321-337

GIEC, 2007. 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, Suisse, …, 103 p.

HUFTY A., 1976 : Introduction à la climatologie. P.U.F. Collection Magellan, Paris. 264 p.

LE BARBE L., ALE G., MILLET B., TEXIER H., BOREL Y., GUALDE R., 1993. Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Paris, ORSTOM, 540 pages

LEROUX M., 1970 : Dynamique des précipitations en Afrique occidentale. Thèse du 3ème cycle. Université de Dakar, Sénégal, 281 p.

MAHE G. et OLIVRY J.C., 1995 : Variations des précipitations et des écoulements en Afrique tel-00493898, version 1 - 21 Jun 2010 de l'Ouest et Centrale de 1951 à 1989. Rev. Sécheresse n° 6, pp 109-117.

SERVAT E., PATUREL J.E., LUBES-Niel H., KOUAME B., MASSON J.M., TRAVAGLIO M., MARIEU B., 1999 : De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale. Revue des sciences de l'eau, vol. 12, n° 2, pp. 363-387.

SUTCLIFFE J. V. et PIPER B. S., 1985 : Bilan hydrologique en Guinée et Togo-Bénin. Hydrol. continent., vol I, n°1, pp 51-61.

TAPSOBA D., 1997 : Caractérisation événementielle des régimes pluviométriques Ouest africains et de leur récent changement. Thèse de Doctorat de l'Université de PARIS-XI (ORSAY), 300 pages.

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, Centre de Recherche de Climatologie CNRS-UMR 5210, 286 pages.