

# *Variabilité Climatique Et Régime Des Extrêmes Hydrologiques Dans Le Bassin Versant De L'Ouémé A L'exutoire De Save*

Avahounlin Ringo. F. <sup>2\*</sup>, Okoundé Jean-Eudes<sup>3</sup>, Kédomé Nelly<sup>1</sup>, Vissin W. Expédit<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université d'Abomey Calavi (UAC), Bénin

<sup>2</sup> Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (UNSTIM), Bénin

<sup>3</sup>CIPMA : Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-CHAIRE UNESCO), Bénin

\*Auteur correspondant : Avahounlin Ringo. F. E-mail : [d2ringofermand@gmail.com](mailto:d2ringofermand@gmail.com)



**Abstract:** This study aims to analyze the influence of climate variability on hydrological extreme regime of Oueme Basin. From chronic data and rainfall rates over the period 1960-2012, various statistical methods were used to assess changes in precipitation, floods characteristics flows, low flows. It first emerges, a marked interannual variability of rainfall, the existence of stationarity breaks in the series used and second deficit periods characterized by significant decreases in rainfall, river flows. More specifically, it is noted that a decrease of -17, 27% of precipitation during the recession correspond to a deficit of -52.73% of annual runoff. Furthermore, nearly 50% reduction in high water involves cessation of flow at low water. During the last decade, the observed rainfall recovery is accompanied by an increase in high water lined with a severity of low water levels. All the identified changes fit well to the fluctuation of hydropluviometric regime observed in the late 1960s and early 1970s in West and Central Africa. The different results highlighted in this work could be useful to managers of water resources in the development of adaptation strategies to climate change.

**Keywords:** Climate variability, interannual variability, Oueme Basin

**Résumé :** Cette étude a pour objectif d'analyser l'influence de la variabilité climatique sur les régimes des extrêmes hydrologiques du bassin de l'Ouémé. A partir des chroniques de données de pluies et de débits sur la période 1960-2012, différentes méthodes statistiques ont été appliquées pour évaluer les variations des précipitations, des écoulements caractéristiques de crues, des étiages. Il se dégage d'une part, une variabilité interannuelle marquée des précipitations, l'existence de ruptures de stationnarité dans les séries exploitées et d'autre part des périodes déficitaires caractérisées par des baisses significatives des précipitations, des débits de rivière. Plus spécifiquement, il est noté qu'à une baisse de -17, 27% des précipitations durant la période de récession correspondent à un déficit de -52,73% de l'écoulement annuel. Par ailleurs, près de -50% de réduction des hautes eaux, implique une cessation de l'écoulement à l'étiage. Au cours de la dernière décennie, la reprise pluviométrique observée s'accompagne d'un accroissement des hautes eaux doublée d'une sévérité des étiages. L'ensemble des variations identifiées s'intègrent bien à la fluctuation du régime hydropluviométrique observée à la fin des années 1960 et au début des années 1970 en Afrique de l'Ouest et Centrale. Les différents résultats mis en évidence dans le présent travail pourraient être utiles aux gestionnaires des ressources en eau dans l'élaboration des stratégies d'adaptation aux changements climatiques.

**Mots clés :** Variabilité climatiques, Variabilité interannuelle, Bassin de l'Ouémé.

## 1- Introduction

La tendance à la baisse de la pluviométrie observée en Afrique de l'ouest à partir de la fin des années 1960 et au début des années 1970 jusqu'au début de la décennie 1990 (Hubert et al., 1989 ; Mahé et Olivry, 1995 ; Bricquet et al., 1997 ; Servat et al., 1999) et qui conduit à une forte diminution du coefficient d'écoulement sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest a eu des répercussions sur les ressources en eau superficielle et souterraine, et sur les productions qui en dépendent (Olivry, 1993). Cette forte récession climatique a engendré une diminution encore plus importante des débits (Mahé et Olivry, 1999) et provoqué le tarissement des rivières. De nombreux cours d'eau ont accusé une baisse importante de leurs écoulements. Par exemple, le fleuve Niger a connu

une cessation d'écoulement à Niamey en 1985. Le fleuve Sénégal à Bakel en 1984 a dû sa survie au soutien artificiel de quelques aménagements hydrauliques (J.C. Olivry, 1996). Au Bénin, le déficit des écoulements de l'ordre de 40% correspond à une diminution de la pluviométrie de 15 à 20% (Lebel et Vissel, 2005). Les variations saisonnières des précipitations et des écoulements ont entraîné des modifications du régime hydrologique des bassins versants, en l'occurrence les extrêmes hydrologiques (Avahounlin et al., 2013). De même, les variations climatiques ont eu des répercussions sévères sur la disponibilité des ressources en eau et donc des menaces pour l'environnement et le développement durable. Pour réduire les effets négatifs des phénomènes hydroclimatiques sur les ressources en eau, l'agriculture et autres domaines connexes, il importe de mieux quantifier ces impacts. La présente étude se propose d'aider les gestionnaires des bassins versants au Bénin à disposer d'une bonne analyse statistique de l'influence de la variabilité climatique sur les régimes hydrologiques de l'Ouémé. Cette étude permettra d'identifier les relations existantes entre le climat, les données hydrologiques (hydrogrammes des rivières) afin d'évaluer les tendances de divers paramètres à moyen et long terme. De plus, les résultats de ces travaux serviront à étudier la possibilité de développer des indices climatiques qui permettraient aux gestionnaires des ressources en eau à développer des stratégies d'adaptation aux fluctuations hydroclimatiques.

## **2- Données et Méthodes**

### **2-1 Cadre d'étude et données**

L'Ouémé (Figure 1) est le cadre de cette étude. D'une superficie de 23000 km<sup>2</sup> à la station hydrométrique de Savè, ce bassin versant est situé entre la latitude 7°58N et 10°12N et les longitudes 1°35E et 3°05E. Le régime pluviométrique, contrôlé par l'harmattan et la mousson, se caractérise par les climats bimodal (au sud du bassin), unimodal (au nord du bassin) et un climat de transition au centre (Le Barbé et al., 1993). Les moyennes annuelles de précipitation (1960– 2012) sont de 1197,06 mm au poste pluviométrique de Bétérou et de 1022,47 mm à celui de Savè. Les variations saisonnières des précipitations régissent le fonctionnement hydrologique du bassin et les particularités climatiques déterminent le régime hydrologique (Totin et al, 2007). Ainsi la réponse du bassin à la répartition des pluies (orageuses, de mousson et continues) induites par les migrations Sud-Nord-Sud de la mousson, ne s'observe qu'à partir de Mai-Juin (Figure 2). Après un temps d'inertie hydrologique où les premières pluies servent à la recharge des réservoirs d'eau souterraine dans les secteurs arénisés des dômes granitiques, à la saturation hydrique des secteurs perméables des roches entre les mois de Février et de Mai, l'écoulement reprend en Juin. La dynamique des écoulements est caractérisée par des débits élevés pendant la saison des pluies. Ainsi les débits maxima de l'ordre de 267,88 m<sup>3</sup>/s à Bétérou et 478,87 m<sup>3</sup>/s au pont de Savè sont obtenus entre Mai et Septembre. De Novembre à Mai presque tous les cours d'eau s'assèchent et les débits moyens d'étiage passent de 49 à 5 m<sup>3</sup>/s à Savè et de 17 à 2 m<sup>3</sup>/s à Bétérou. Les hautes eaux sont enregistrées de Juillet à Octobre et les basses eaux de Novembre à Avril.

Les données utilisées dans cette présente étude concernent les séries de débits et précipitations (au pas de temps journaliers). Ces séries sont issues des bases de données du Service d'Hydrologie de la Direction Générale de l'Eau au Bénin (DG Eau) pour ce qui concerne les débits puis de la Direction Nationale de la Météorologie du Bénin (DMN) pour ce qui concerne les précipitations. Au total 18 postes pluviométriques et 2 stations hydrométriques (Bétérou et Savè) ont été considérés sur la période de 1960– 2012.

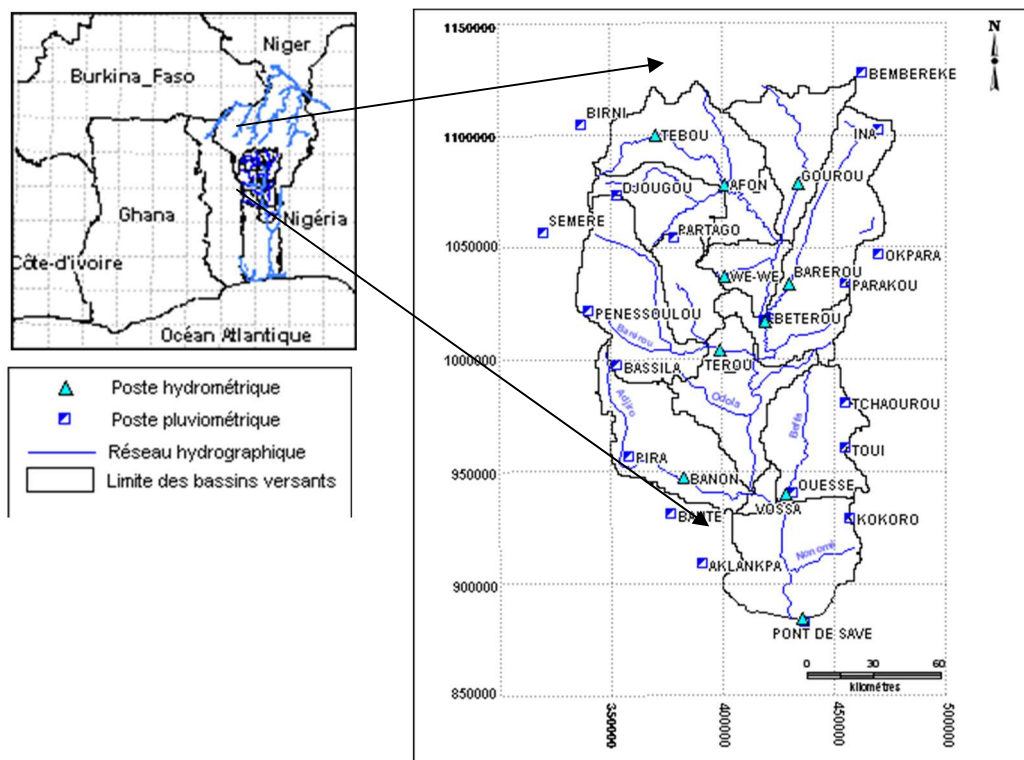


Figure 1 : Le bassin de l'Ouémé (à Savè) et son réseau hydrographique

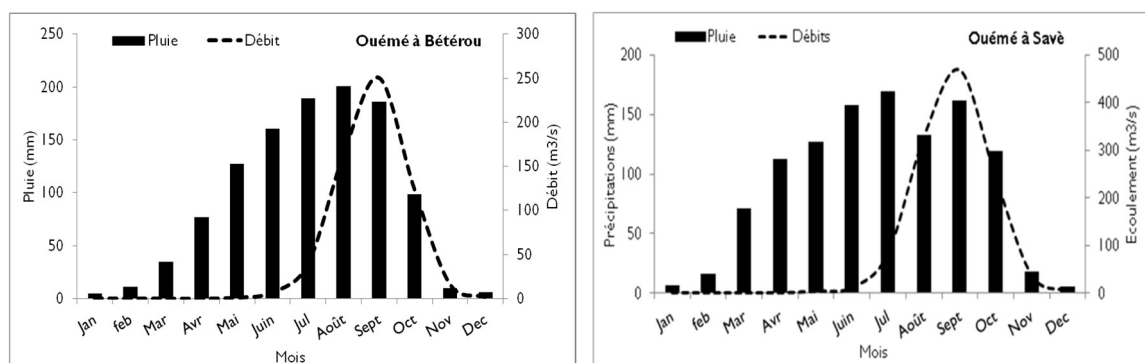


Figure 2 : Régime hydropluviométrique dans les sous bassins de l'Ouémé

## 2-2 Méthodes d'Analyse

### Caractérisation de la variabilité hydroclimatique

Le calcul de l'indice centré réduit a été utilisé pour suivre l'évolution interannuelle des précipitations, des écoulements à l'échelle du bassin de l'Ouémé à Savè. Ainsi les variations interannuelles sont précisées sur les différents paramètres. L'indice centré réduit

(I) est le rapport de l'écart à la moyenne interannuelle sur l'écart type de la série. Il permet d'observer la variabilité interannuelle ainsi que les périodes de déficits et d'excédents donc l'impact de la variabilité climatique. Il est déterminé par la formule suivante :

$$I = \frac{X_i - X_m}{\sigma(x)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Avec  $X_i$  la valeur de la variable,  $X_m$  la moyenne de la série, et  $\sigma(x)$  l'écart type de la série.

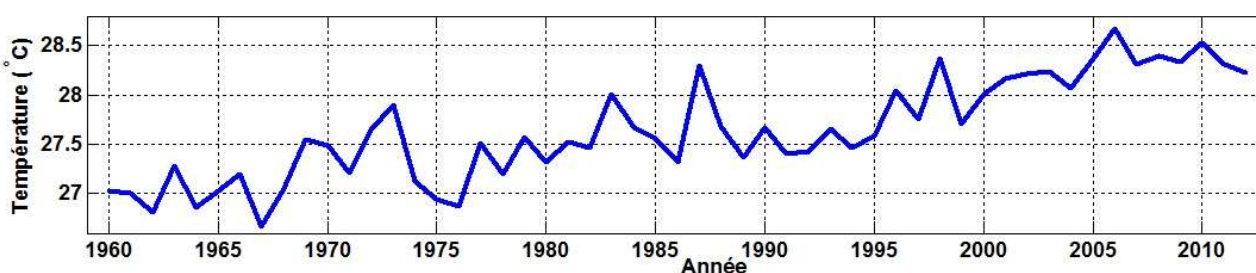
### Variabilité des écoulements caractéristiques et régime hydrologique de l'Ouémé

Pour chacun des sous bassins considérés, sont successivement décrits (par des paramètres statistiques) les courbes débits classés, les crues et les étiages. Et pour évaluer l'impact des fluctuations pluviométriques sur les régimes hydrologiques, il a été mis en évidence la relation existante entre la sécheresse pluviométrique observée depuis 1970 et la sécheresse hydrologique de ces dernières décennies. Pour une année donnée, la courbe débit classé est la fonction de répartition des débits moyens journaliers, et dont la moyenne est le module annuel. Classiquement, elle est définie par sept valeurs, les débits caractéristiques qui sont : le débit MAXI (débit maximum annuel) ; le DCC (débit caractéristique de crue, le débit dépassé 10 jours par an) ; le DC1 (débit dépassé 1 mois par an) ; le DC3 (débit dépassé 3 mois par an) ; le DC6 (débit dépassé 6 mois par an) ; le DC9 (débit dépassé 9 mois par an) ; le DC11 (débit dépassé 11 mois par an) ; le DCE (débit caractéristique d'étiage, dépassé 355 jours par an) et le débit MINI (débit minimum annuel). Ainsi la sévérité de l'étiage est analysée au moyen des différents débits caractéristiques d'étiage. En effet la sévérité de l'étiage est appréciée à partir d'un déficit en volume d'eau, déficit enregistré sur une période dont les jours présentent un débit inférieur à un seuil fixé. La durée de cette période et le déficit qui en découle constituent nos indices de la sévérité des étiages. La définition du seuil a pris en considération deux débits journaliers : DCE10 et DCE30. Partant de la courbe des débits journaliers classés sur une décennie, le débit caractéristique d'étiage de 10 jours et de 30 jours correspond respectivement au débit journalier dépassé dans 97,3% et 91,8% des cas (Aka, 1994).

### 3- Résultats et Discussion

#### Caractérisation de la variabilité hydro climatique

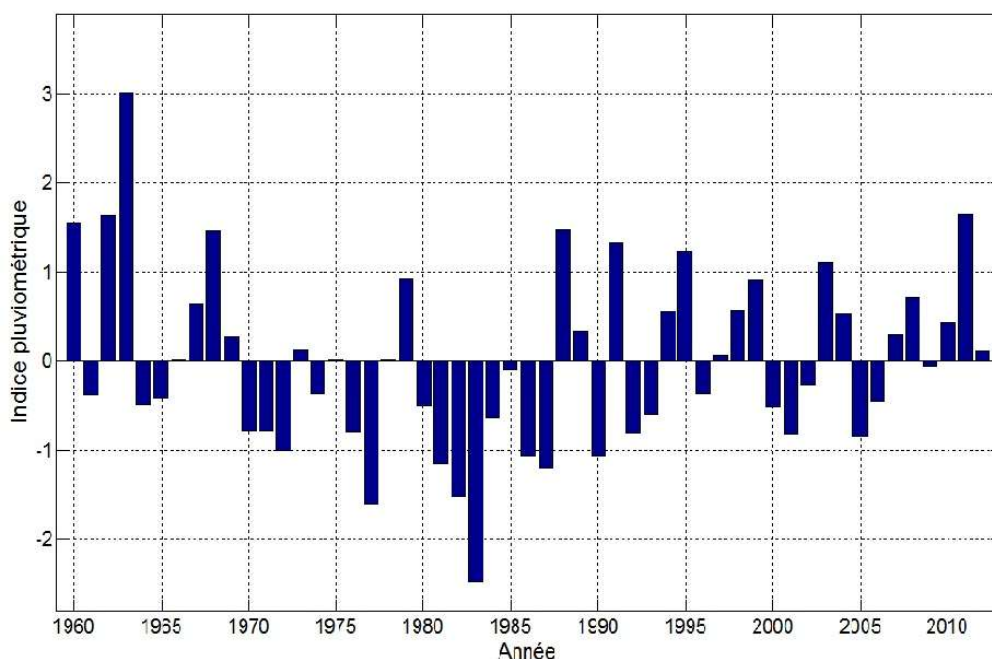
Les variations interannuelles de trois paramètres hydroclimatiques (température, précipitations et module annuel) ont été analysées. Les variations de la température moyenne sur la période 1960 – 2012 montrent une tendance nette à la hausse avec une augmentation d'environ 1,2°C en 2012. Au cours de cette période quatre années exceptionnelles (1973, 1984, 1987, 1998 et 2006) sont caractérisées par des pics remarquables (Figure3).



**Figure 3 : Variabilité interannuelle de la température à l'échelle du bassin de l'Ouémé à Savè**

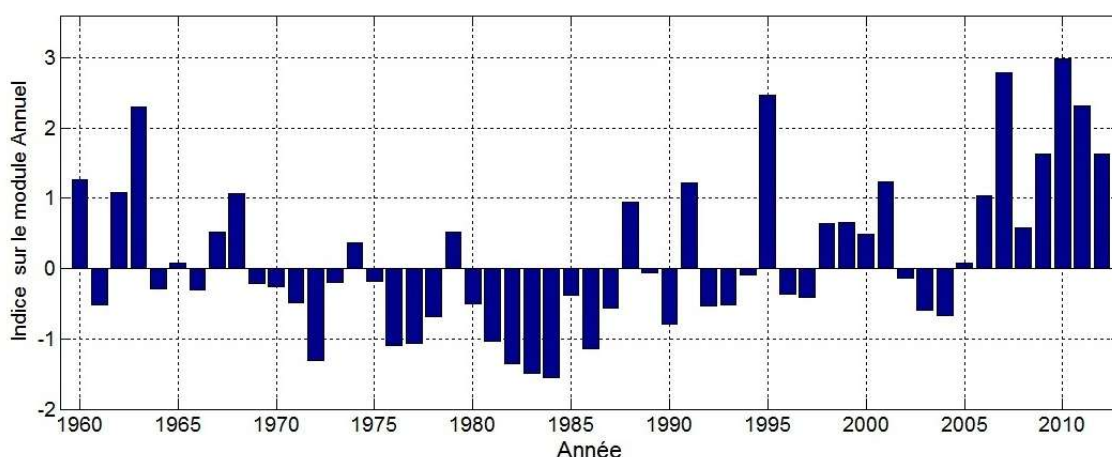
Le calcul de l'indice centré sur les précipitations annuelles et les écoulements correspondants ont permis de caractériser la variabilité interannuelle des paramètres hydropluviométriques (pluie et débit) à l'échelle du bassin. Les fluctuations interannuelles de la pluviométrie et du module se caractérisent par une alternance de période humide (1960 à 1969) et de période sèche (1970 à 1990) et enfin d'une période normale de 1991 à 2012. Ainsi es précipitations connaissent une baisse d'une décennie à une autre où on observe une rupture nette à partir de 1970 (Figure 4). Cette baisse se poursuit en s'amplifiant au début de la décennie 1980 avec des

sécheresses sensibles de 1981 à 1987. Les anomalies positives sont observées majoritairement avant les années 1970 et après les années 1990.



**Figure 4 : Fluctuation interannuelle de la pluviométrie sur le bassin de l'Ouémé à Savè**

Les moyennes pluviométriques relatives aux trois sous périodes identifiées (1960-1970 ; 1970 -1990 ; 1991 à nos jours) sont respectivement de 1301,09 mm ; 1076,28 mm et 1212,95 mm. Celles-ci se traduisent par une baisse de -17,27 % dans la deuxième sous périodes et -6,77% dans la dernière par rapport à la première sous période qui constitue la plus humide. L'évolution des écoulements annuels (Figure 5) connaît une rupture de stationnarité en 1969 (198,03 m<sup>3</sup>/s en 1968 et 101,3 m<sup>3</sup>/s en 1969), une diminution intense pendant la phase de récession pluviométrique allant de 1969 à 1990 puis une hausse pendant la phase de reprise pluviométrique (57,31 m<sup>3</sup>/s en 1990 et 209,98 m<sup>3</sup>/s en 1991).



**Figure 5 : Fluctuation interannuelle de l'écoulement sur le bassin de l'Ouémé à Savè**



L'indice centré réduit appliqué au module, identifie des ruptures entre 1968 et 1969 puis entre 1987 et 1988. Les moyennes des modules pendant les trois sous périodes consécutives sont respectivement  $155,25 \text{ m}^3/\text{s}$  ;  $73,37 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $143,27 \text{ m}^3/\text{s}$ . Les écoulements subissent une diminution de  $-52,73\%$  entre 1969 et 1987 ;  $-7,71\%$  au cours de la dernière sous période par rapport à la première qui demeure la plus humide. Les fluctuations interannuelles observées confirment le régime pluviométrique observée à la fin des années 1960 et au début des années 1970 en Afrique de l'Ouest et Centrale sahélienne comme non sahélienne (Hubert et *al.*, 1989 ; Mahé et Olivry, 1995 ; Paturel et *al.*, 1997 ; Servat et *al.*, 1999). Le déficit hydrologique ( $58,13\%$ ) consécutif à la récession pluviométrique est semblable à celui observé sur le bassin du N'zi (Goula et al, 2006) soit environ deux fois le déficit pluviométrique. Ces résultats confirment la récession pluviométrique au Bénin dont on fait cas plusieurs auteurs (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999 ; Vissin, 2001 et 2007, Ogouwalé, 2006).

### 3-2 Variabilité climatique et régime hydrologique du bassin

La baisse constatée des écoulements, conséquence directe de la diminution des précipitations et de l'élévation de la température à l'échelle du bassin n'est pas restée sans effet sur la disponibilité des ressources en eau. Pour déterminer l'impact de la variabilité hydroclimatique sur le régime du bassin, les débits caractéristiques ont été analysés. Ainsi à partir des courbes débits classés, les débits caractéristiques ont été calculés. L'analyse de la variation de ces derniers sur les différents sous périodes climatiques confirme la forte diminution des écoulements durant la période de récession pluviométrique. Cette diminution s'est même répercutée sur les extrêmes hydrologiques en sens où les DCC d'une part pour ce qui concerne les hautes eaux ; les DCE, d'autre part pour ce qui concerne les basses eaux ont été nettement affectés.

#### Impact de la variabilité hydropluviométrique sur le régime des hautes eaux de l'Ouémé

Les variations interannuelles des débits caractéristiques DCC se traduisent par des fluctuations caractérisées par deux périodes de rupture (une première en 1971 et la seconde en 1990) (Figure 6). On identifie donc trois sous périodes 1960-1970, 1969-1990, 1991-2009. Les écoulements moyens d'une sous-période à une autre sont respectivement de l'ordre de  $881,02 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $458,56 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $734,21 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le passage de la sous période P1 à la sous période P2 correspond à un déficit de  $-47,95\%$ . La 3<sup>ème</sup> sous période est marquée par une augmentation de l'ordre de  $+60,10\%$ . Les années 1963, 1991 et 2003 ont été très marquées par d'importants écoulements contre les années 1982, 1983 et 1984 où les écoulements sont les plus faibles. A un déficit pluviométrique de  $-17,27\%$  durant la période de récession correspond une diminution de  $-47,95\%$  soit environs le double du déficit pluviométrique.

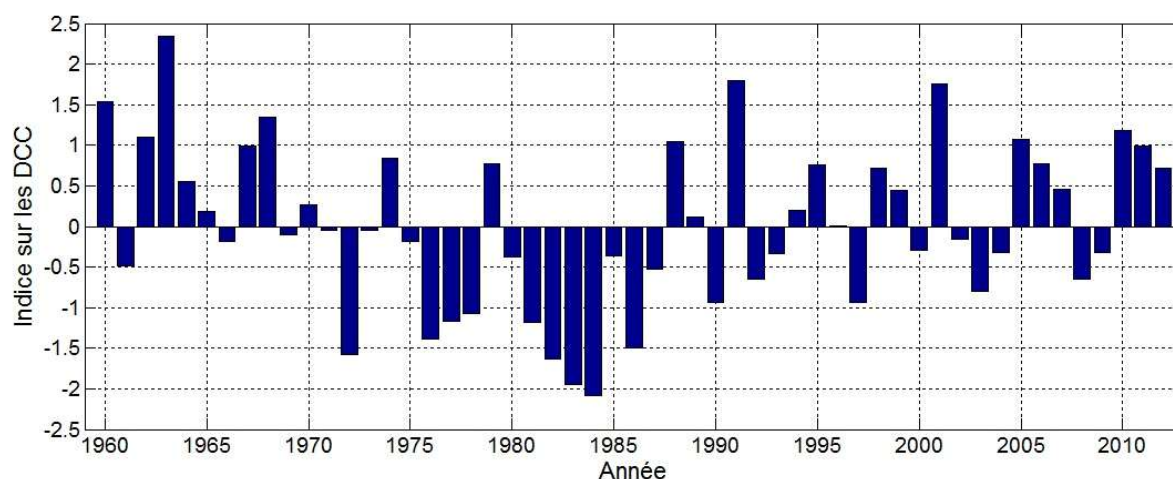
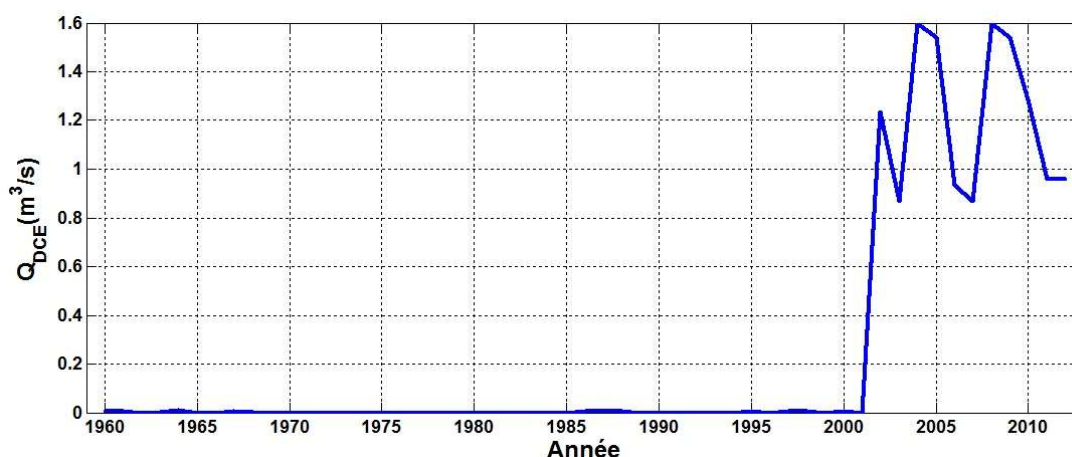


Figure 6 : Fluctuation interannuelle des débits caractéristiques de hautes eaux

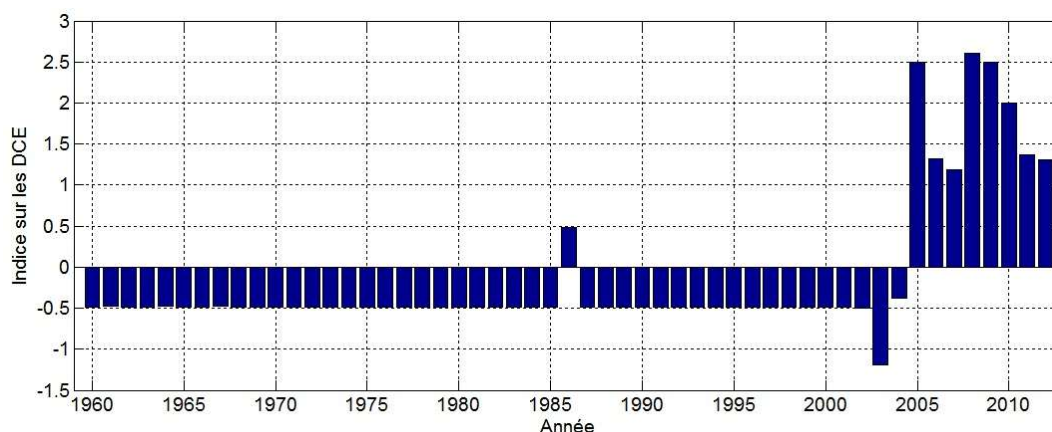
#### Impact de la variabilité hydropluviométrique sur le régime des basses eaux de l'Ouémé

A l'échelle du bassin de l'Ouémé à Savè, les variables caractéristiques des basses eaux notamment les DCE sont presque nulle jusqu'en 2001, période à partir de laquelle elles s'élèvent jusqu'à  $1,60 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Figure 7).



**Figure 7 : Evolution annuelle des DCE dans le bassin de l'Ouémé**

Les variations des minima hydrologiques ont été aussi signalées par leurs indices centrés réduits. Ceux-ci sont extrêmement déficitaires jusqu'à 2005 où on note une augmentation significative de l'ordre de 95%. La variabilité pluviométrique observée s'est manifestée par une exacerbation des extrêmes hydrologiques caractérisée par une augmentation cruciale des débits caractéristiques durant la décennie récente (Figure 8).



**Figure 8: Fluctuation interannuelle des débits caractéristiques des basses eaux du bassin de l'Ouémé à Savè**

#### Durée et sévérité des étiages

A partir de l'analyse de la variation interannuelle du nombre de jours et du volume d'eau écoulé correspondant à chaque indice d'étiage, la durée des étiages et leur sévérité ont été caractérisées. La représentation de ces variables (Figure 9), indique un comportement opposé dans le temps entre le nombre de jours concernés et le déficit en volume d'eau écoulé. Le nombre de jours dont le débit est inférieur au seuil varie de 2 à 163 jours pour les débits caractéristiques d'étiage de 10 jours et de 15 à 160 jours pour les débits caractéristiques d'étiage de 30 jours. Par contre les volumes d'eau écoulée varient de 259,20 à 2,61 m³ pour le DCE10 puis de 5,76 à 0,66 m³ pour le DCE30. Quelque soit l'indice considéré, on note une tendance à la hausse de la durée des étiages. L'étude de la sévérité des étiages indique que le nombre de jours d'étiage augmente alors que le volume d'eau écoulé diminue et que tout ceci s'amplifie d'année en année. Par contre Aka (1994) à Nzianoa, Semien, Aniassué et Bafingdala indique une tendance à la hausse et un comportement analogue dans le temps entre le nombre de jours de débit inférieur aux seuils et le volume d'eau. Ainsi cet affaiblissement généralisé des volumes d'étiages dans le bassin traduit un amenuisement croissant des réserves souterraines du bassin sous l'effet des déficits pluviométriques récurrents.

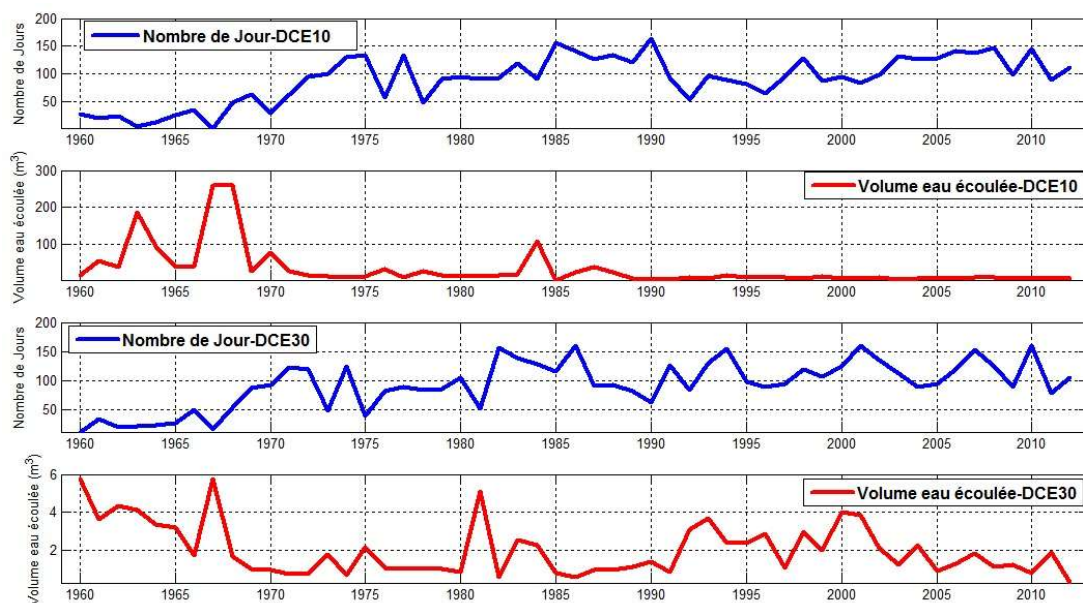


Figure 9: Nombre de jour de débit inférieur au seuil de l'indice d'étiage et volume d'eau correspondant

### 3-3 Variabilité hydroclimatique et évolution interannuelle du coefficient de tarissement à l'échelle du bassin de l'Ouémé

L'analyse de l'évolution des coefficients annuels de tarissement (1960 à 2012) montre une tendance à la hausse (1960 à 1983) oscillant entre  $0,063 \text{ j}^{-1}$  et  $0,16 \text{ j}^{-1}$  suivi d'une baisse (1985 à 2012) où les valeurs varient entre  $0,076$  à  $0,02 \text{ j}^{-1}$  (Figure 10). La période de hausse est caractérisée par une fluctuation constante des coefficients avec un pic en 1983 (année pluviométrique la plus sèche) d'une valeur de  $0,16 \text{ j}^{-1}$  alors que la période de baisse est caractérisée par une chute assez prononcée des coefficients atteignant  $0,02 \text{ j}^{-1}$  en 2012. Les valeurs moyennes autour desquelles oscillent les coefficients sont de  $0,079 \text{ j}^{-1}$  (13 jours) avant 1970 ;  $0,09 \text{ j}^{-1}$  (11 jours) pendant la période sèche, soit une augmentation de 12% et  $0,067 \text{ j}^{-1}$  (15 jours) après 1990 soit une baisse d'environ 25%. Ces moyennes traduisent un tarissement rapide du fleuve après les années 1970. Ces résultats obtenus montrent que les réserves en eau souterraines répercutent bien les variations de la pluviométrie sur le bassin. Elles sont très sensibles aux fluctuations de la pluviométrie. Mahé *et* Olivry, (1998) ont observé une augmentation des coefficients de tarissements dès 1969 sur cinq sous-bassins du fleuve Niger. Olivry, (1993) a montré l'augmentation du coefficient de tarissement du Bani à Douna à partir de 1969 qui correspond à une vidange précoce et plus rapide des nappes souterraines. Au Bénin ce phénomène a été observé par Amoussou, (2010) sur le sous bassin du Mono sur lequel il a noté une tendance à la hausse des coefficients de tarissement avant 1987 ainsi qu'une baisse dans la sous-période 1988-2000. Cette hausse du coefficient de tarissement qui correspond à une vidange précoce et plus rapide des nappes, témoigne de l'effet des changements climatiques.

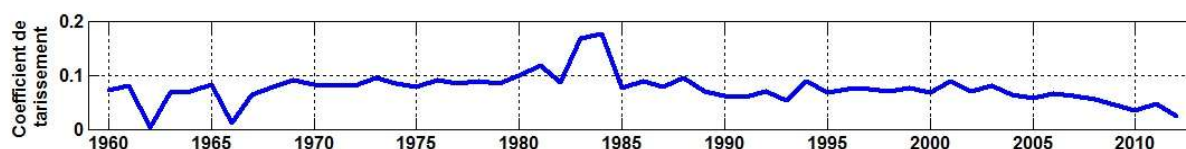


Figure 13 : Evolution interannuelle du coefficient de tarissement dans le bassin de l'Ouémé à l'exutoire de Savè

### Conclusion

Des preuves statistiques du potentiel impact de la variabilité hydro climatique sur les régimes hydrologiques de l'Ouémé sont détectées. L'identification et la caractérisation de l'impact potentiel de la variabilité hydropluviométrique observée ces dernières



décennies ont permis d'analyser la vulnérabilité du bassin de l'Ouémé. A cet effet l'analyse de l'évolution interannuelle des paramètres hydroclimatiques (Précipitations, débits et température) a permis de constater une augmentation significative de la température d'environ 1,2°C, entraînant une modification du régime pluviométrique à travers la réduction de la disponibilité d'eau en saison pluvieuse. De plus, trois périodes sont identifiées dont une première humide de 1960 à 1969 suivis d'une période sèche de 1970 à 1990 et une dernière normale est caractérisée par une reprise pluviométrique. Les déficits pluviométriques des décennies 1970 et 1980 d'environ -17,27 % ont engendré une baisse d'environ -52,73 % de l'écoulement. Toutefois, il est à noter une légère reprise pluviométrique de +12,69 % au cours de la décennie récente, contre 53,57 % de l'écoulement. Considérant l'importance des usages liés à la ressource en eau à l'échelle du bassin, il s'avère nécessaire que les gestionnaires élaborent des stratégies de gestion concertée et rationnelle de ces ressources, stratégies qui doivent tenir compte des conditions physiques du terrain et des possibilités économiques convenables à l'adaptation des populations à la vulnérabilité aux changements climatiques.

## Références

- [1] **AKA A., 1994** : Analyse statistique de l'évolution des écoulements en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, Sciences et techniques du Languedoc, Université Montpellier II, 69p.
- [2] **AKOGBONGBE A., 2008** : Contribution à l'étude de la caractérisation hydropluviométrique avec le modèle GR4J sur le bassin de l'Ouémé à Savè et Atchérigbé. Mémoire de maîtrise en géographie. UAC 79 p.
- [3] **AMOUSSOU E., 2010** : Variabilité pluviométrique et dynamique hydrosédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé- Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 315p.
- [4] **AVAHOUNLIN R. F., LAWIN A.E., ALAMOU E., CHABI A., AFOUDA A., 2013** : Analyse fréquentielle des séries de pluies et débits maximaux de l'Ouémé et estimation des débits de pointe. EJSR Vol.107 N°3 July, pp.355-369.
- [5] **BI TIE A. G., ISSIAKA S., BROU K., VAMORYBA F., GNAMIEN B. K., 2006** : Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'ZO et N'ZI en Côte d'Ivoire (Afrique tropical humide) ; Vertigo- La revue en sciences de l'environnement, Vol7, n° 1, mai 2006.
- [6] **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.
- [7] **CHAPMAN, T. G. 1991**: Comment on "Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis" by R. J. Nathan and T. A. McMahon. Water Resources Research, 27(7): 1783-1784.
- [8] **CHAPMAN, T. G., MAXWELL, A. I. 1996**: Baseflow separation - comparison of numerical methods with tracer experiments. 23rd Hydrology and Water Resources Symposium. 539- 545.
- [9] **FUREY, P. R., GUPTA, VIJAY K. 2001**: A physically based filter for separating base flow from streamflow time series. Water Resources Research, 37(11): 2709-2722.
- [10] **GOULA A., I. SAVANE, B. K., 2006** : Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'ZO et N'ZI en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale).Revue sciences de l'environnement, vol7, 1.
- [11] **HUBERT P., CARBONEL J.P., CHAUCHE A., 1989** : Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest, Journal of Hydrology, 110, 349-367.
- [12] **ISSAKA S., KAPO M. C., PIERRE G. :** Etude comparative de trois méthodes de calcul du coefficient de tarissement des cours d'eau ; Science et changements planétaires/ sécheresse. Volume 14, numéro 1, 37-42, janvier 2003, note méthodologique.
- [13] **LE BARBE L., ALE G., MILLET B., TEXIER H., BOREL Y., GUALDE R., 1993** : Les ressources en eaux superficielles du Bénin. Editions de l'ORSTOM, Paris, France.
- [14] **MAHE G., OLIVRY J.C., 1995** : Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989, Sécheresse, 6, 1, 109-17.

- [15] **NATHAN R. J., MCMAHON T. A., 1990:** Practical aspects of low flow frequency analysis. Water Resources Research, 26(9), 2135-2141.
- [16] **NATHAN, R. J., MCMAHON, T. A. 1990:** Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. Water Resources Research, 26(7): 1465-1473.
- [17] **PALMER W.C., 1965:** Meteorology drought. U. S. Department of commerce, weather Bureau, Research, Paper n°45, 58 pages.
- [18] **SCANLON, B.R., HEALY, R.W., COOK, P.G. 2002:** Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal, 10:18-39.
- [19] **SOGREAH-SCET. Tunisie, 1997 :** Etude de stratégie nationale de gestion des ressources en eau au Bénin/ Rapports R1, R2, R3, R4, Cotonou, Bénin.
- [20] **TOTIN V.S. HENRI, MICHEL BOKO, EULOGE OGOUNWALE, 2007:** Dynamique de la mousson ouest africaine, régime hydrologique et gestion de l'eau dans le bassin supérieur de l'Ouémé.
- [21] **TURKPAK- INTERNATIONAL/ SCET-1991 :** Inventaire des ressources en eau souterraines au Bénin. Rapport final, volume 1. Edition définitive, Tunisie.
- [22] **VARADO N. 2004 :** Contribution au développement d'une modélisation hydrologique distribuée : Application au bassin de la Donga, au Bénin ; Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble
- [23] **VISSIN E. W., 2007 :** Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du Niger. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, France, 310p.