

Caractérisation Des Risques Hydroclimatiques Dans Le Bassin Versant De L'Ouémé A L'exutoire De Bétérou Au Bénin (Afrique De L'ouest)

Koudamiloro Olivier

Laboratoire d'Étude et de Recherche sur les Milieux et Territoires (LERMIT)
Université de Ouagadougou 1 PR Joseph KI-ZERBO (Burkina-Faso)

Vissin Expédit Wilfrid

Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau,
Ecosystème et Développement (LACEEDE)
Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

Dipama Jean-Marie

Laboratoire d'Étude et de Recherche sur les Milieux et Territoires (LERMIT)
Université de Ouagadougou 1 PR Joseph KI-ZERBO (Burkina-Faso)

doi: 10.19044/esj.2017.v13n15p101 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n15p101](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n15p101)

Abstract

In the catchment area of Ouémé with Bétérou the extreme climatic phenomena lead to risks hydroclimatic which can create, for lack of an adequate management, massive migrations of populations, ecological disasters as well as shortages of food, of energy, of essential water and other goods.

The work aims to study the risks hydroclimatic in the catchment area of Ouémé to the discharge system of Bétérou.

To achieve this goal, from the climatological data (height daily and monthly of rains, temperatures, ETP) over 1965 to 2012 period are obtained at the National Direction of the Meteorology (DNM) of Cotonou. The hydrological data made up of the daily outputs of the Ouémé river to the discharge system of Bétérou, over 1965-2012 period are extracted from the data base of DG-Water. The diagnostic methods of the climate used are primarily statistical and relate to the frequential analysis and the calculation of the indices of dryness.

The analysis of the results shows that in the catchment area of Ouémé with Bétérou analyzes compared of the three indices of weather dryness (Decile, RDI and the SPI), that the basin known over the period of 1965 to 1990 three years very dry (1981, 1982 and 1987) and a year close to the extreme dryness (1983). It also arises that index PDSI made it possible to identify the various periods of dryness recorded in the middle

In the basin, the recurrences of the rains and maximum us flows are also 2, 5, 10, 20, 50, 100 and 200 years and make it possible to say that the area can be in prey of exceptional flood which can likely involve floods which will not be without consequences on the local development.

Keywords: Bétérou, hydro climatic phenomenon, risks

Résumé

Dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou les phénomènes climatiques extrêmes conduisent à des risques hydroclimatiques qui peuvent causer, faute d'une gestion adéquate, des migrations massives de populations, des désastres écologiques ainsi que des pénuries de vivres, d'énergie, d'eau et d'autres biens essentiels.

L'objectif global de ce travail est d'étudier les risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou.

Pour atteindre cet objectif, des données climatologiques (hauteur de pluies journalières et mensuelles, températures, ETP) sur la période de 1965 à 2012 sont obtenues à la Direction Nationale de la Météorologie (DNM) de Cotonou. Les données hydrologiques constituées des débits journaliers du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bétérou, sur la période 1965-2012 sont extraites de la base de données de la DG-Eau. Les méthodes diagnostiques du climat utilisées sont essentiellement statistiques et concernent l'analyse fréquentielle et le calcul des indices de sécheresse.

L'analyse des résultats montre que dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou analyse comparée des trois indices de sécheresse météorologique (Décile, RDI et le SPI) indique que le bassin a connu sur la période de 1965 à 1990 trois années très sèches (1981, 1982 et 1987) et une année proche de l'extrême sécheresse (1983). Il ressort aussi que l'indice PDSI a permis d'identifier les différentes périodes de sécheresse enregistrées dans le milieu. Dans le bassin, les récurrences des pluies et débits maximaux sont également de 2, 5, 10, 20, 50, 100 et 200 ans et permettent de dire que le secteur d'étude peut être en proie à des crues exceptionnelles susceptibles d'occasionner des inondations qui ne seront pas sans conséquence sur le développement local.

Mots clés : Bétérou, phénomènes hydroclimatiques, Risques

Introduction

Les États africains, spécifiquement ceux de l'Afrique de l'Ouest et Centrale présentent une sensibilité accrue aux situations extrêmes (inondations, sécheresses) en raison de leur structure économique, sociale et démographique. Ces extrêmes entraînent fréquemment des déplacements

massifs de population, une paralysie économique, et dans les situations les plus graves, des famines et des pertes en vies humaines (Ardoin-Bardin, 2004).

L'Afrique de l'ouest a subi pendant les décennies 70 et 80 une sécheresse d'une ampleur et d'une intensité inégalées dans le monde qui a entraîné de nombreuses crises alimentaires et sanitaires. Les pics secs des années 1973-74 et 1984-85 ont été particulièrement dramatiques pour les populations. Aujourd'hui encore, la région est régulièrement affectée par des famines dues à des saisons des pluies déficitaires (Bacci *et al.*, 2010).

En effet, autant les extrêmes hydroclimatiques de l'époque contemporaine perturbent le fonctionnement normal des activités socio-économiques, autant ils représentent des facteurs de risques qui fragilisent la santé des populations. (Boko, 2004). Au Bénin, selon les résultats des travaux de PANA-BENIN (2008), les principaux risques qui menacent les populations béninoises sont les inondations et les sécheresses.

Il faut ajouter que depuis la fin des années 1960, des perturbations climatiques sont intervenues au Bénin et se sont manifestées par une réduction d'amplitude annuelle moyenne des hauteurs totales de pluies de 180 mm (Zannou, 2011). Il a été noté une intensification des sécheresses qui se sont produites pendant la même période, notamment dans les années 1970 et 1980. Par ailleurs, les pluies du début de saison pluvieuse sont violentes, ce qui favorise l'inondation et l'érosion sur les sols mal protégés.

Donc la récurrence de ces risques ainsi que leurs interactions ne peuvent plus être ignorées aujourd'hui des décideurs publics ou privés et des citoyens. Il paraît donc nécessaire de mener une étude sur les risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou. Le présent bassin est situé au nord du Bénin et a pour coordonnées géographiques: les latitudes 9°30' et 10°00' au nord, et les longitudes 1°30' et 2°48'est (Fig. 1).

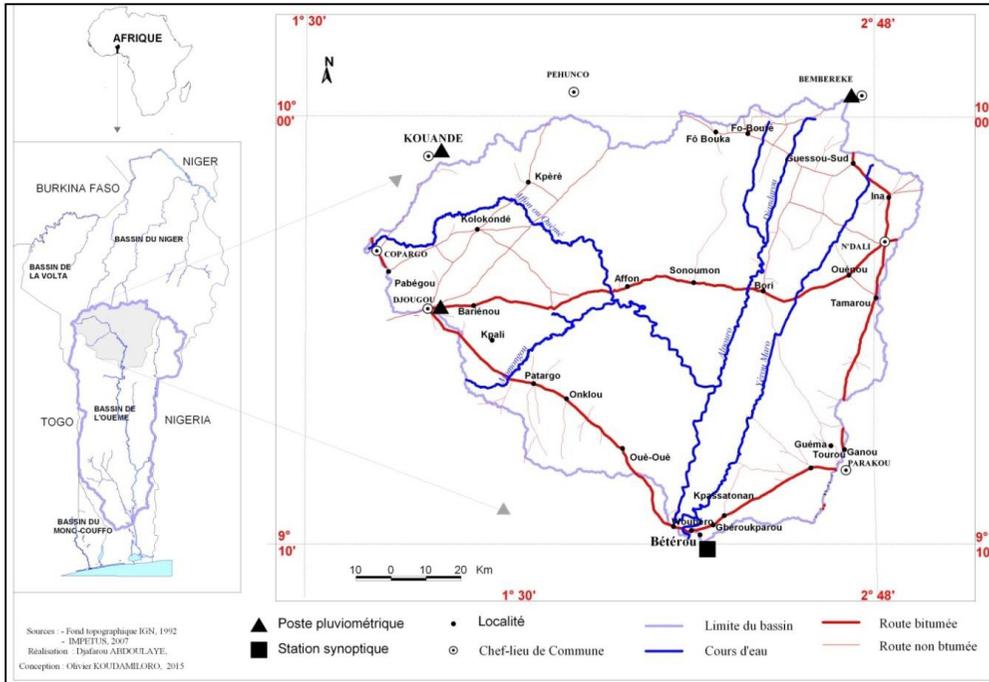


Figure 1: Situation géographique du bassin de l’Ouémé à Bétérou

Données et Méthodes

Données

Des données climatologiques (hauteur de pluies journalières et mensuelles, les températures, l'évapotranspiration potentielle) sur la période de 1965 à 2012 sont obtenues à l'ASECNA. Les données hydrologiques constituées des débits journaliers du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bétérou, sur la période 1965-2012 sont extraites de la base de données de la DG-Eau. Les données pédologiques, notamment la capacité de rétention en eau du sol ont été obtenus au le Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE) de l'Université d'Abomey-Calavi.

Méthodes

Selon les enquêtes réalisées et d'après le Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques du Bénin (PANA-Bénin, 2008), les inondations et la sécheresse constituent des risques hydrométéorologiques majeurs les plus récurrents dans le milieu d'étude.

Méthode de caractérisation de la sécheresse

Il existe une multitude d'outils développés pour caractériser les situations de sécheresse. Comme les sécheresses sont des phénomènes complexes pour lesquels il existe plusieurs définitions (Beaudin, 2007), les

outils qui peuvent être utilisés pour leur suivi sont également nombreux. Dans ce travail, les indices seront utilisés.

Indicateurs de sécheresse météorologique

➤ **Indice standardisé de précipitations (SPI)**

L'indice standardisé de précipitations « SPI » (Standardised Precipitation Index) peut caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. Le calcul de cet indice à partir de l'équation suivante :

$$SPI = \frac{(p_i - p_m)}{\sigma}$$

P_i est la Précipitation de l'année i, P_m la Précipitation moyenne et σ la Déviation standard ou écart type.

Cet indice a permis de déterminer le degré d'humidité ou de sécheresse du milieu.

➤ **Déciles des précipitations**

La notion de déciles a été développée par Gibbs et Maher (1967) pour pallier les faiblesses du pourcentage à la normale. Cette approche permet de connaître la fréquence d'un événement. Elle divise la distribution des fréquences des événements en 10 parties représentant chacune 10 % de la distribution. Cette approche permet de connaître la fréquence d'un événement.

➤ **Indice de Reconnaissance de sécheresse (RDI)**

La sévérité d'une sécheresse peut être évaluée à travers le calcul de l'indice de Reconnaissance de sécheresse (RDI) et plus précisément à travers sa forme standardisée (RDI_{st}). Le RDI est calculé à partir de l'Equation 1.

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\sigma_y} ; y^{(i)} = \ln(\alpha_k^{(i)}) ; \alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k ETP_{ij}} \quad i = 1 (1) N \text{ et } j = 1 (1) k$$

(Equation 1)

Indicateurs de la caractérisation de la sécheresse hydrologique

L'indice de sécheresse des cours d'eau (SDI) et l'indice de sécheresse hydrologique de Palmer (PHDI) ont été utilisés.

➤ **Indice de sécheresse des cours d'eau (SDI)**

Le SDI a été développé par Nalbantis and Tsakiris (2009). Basé sur le concept de l'indice standardisé de précipitation (SPI), il sert à caractériser la sécheresse hydrologique. le SDI qui est calculé à partir des Equations 2 et 3.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} ; i = 1, 2, \dots ; j = 1, 2, \dots, 12 ; k = 1, 2, 3, 4 \quad (\text{Equation 2})$$

2)

Où $V_{i,k}$ est le débit cumulé de l'année hydrologique i et k la période de référence, $k = 1$ pour Octobre-Décembre, $k = 2$ pour Octobre-Mars, $k = 3$ pour Octobre-Juin et $k = 4$ pour Octobre-Septembre. En utilisant les débits cumulés $V_{i,k}$ du cours d'eau choisi le SDI est défini pour chaque période de référence k de l'année hydrologique i comme suit :

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \overline{V}_k}{S_k}; i = 1, 2, \dots; k = 1, 2, 3, 4 \text{ Equation 3)}$$

Où V_k et S_k sont respectivement la moyenne et l'écart-type des débits cumulés de la période référence k choisie comme ces deux paramètres sont calculés sur une longue période de temps. Dans cette formule le niveau de troncature est fixé à V_k bien que d'autres valeurs peuvent être utilisées. Les classes de sécheresse hydrologique sont définies pour le SDI de la même manière que les indicateurs météorologiques SPI et RDI.

➤ **Indice de sécheresse hydrologique de Palmer (PHDI)**

L'indice de sécheresse hydrologique de Palmer (PHDI) a été développé par Palmer (1965). Le PHDI est très similaire à l'indice de sécheresse de Palmer (PDSI) et est issu du calcul du PDSI (Cutore *et al.*, 2009). Le PHDI est une méthode d'identification de la sécheresse hydrologique basée sur les précipitations et l'évapotranspiration (Heim, 2002; Weber & Nkemdirim, 1998).

Caractérisation de la sécheresse agricole

Les indicateurs de sécheresse agricole sont plus liés à l'humidité du sol qui est directement rattachée aux cultures.

➤ **Indicateur de sécheresse sévère de Palmer (PDSI)**

L'indice de Palmer (PDSI) a été développé par Palmer (1965), pour décrire les situations de sécheresse sévère. Cet indice ne permet pas l'identification de début et la fin des poches de sécheresse. Il est calculé à partir de la relation suivante :

$$PDSI = X(i) = 0,897X(i-1) + Z(i)/3$$

Où : $X(i-1)$ est le PDSI de la période précédente ; $Z(i)$ est l'indice de l'anomalie en humidité ; i semaine ou mois de l'année.

$$\text{Et } Z(i) = K(P - P_c)$$

Où : K est le facteur de poids (Alley, 1984) ; P est la précipitation actuelle (mm) ; P_c est la précipitation CAFEC (mm) .

➤ **Z indice de Palmer ou Palmer Z-index**

L'indice Z de palmer est utilisé pour la détermination de la sécheresse par rapport à l'humidité du sol. Cet indice est dérivé du calcul du PDSI. L'anomalie d'humidité du sol pour la semaine ou le mois est calculée sous forme d'indice Z . La différence entre le PDSI et l'indice Z est que ce

dernier est indépendant du temps alors le PDSI l'est. Le tableau 1 présente la synthèse des indices utilisés dans ce travail.

Tableau 1 : Synthèse des catégories sèches et humides de divers indices de sécheresse basée sur la valeur de l'indice

Catégories	Sécheresse météorologique			Sécheresse hydrologique		Sécheresse agricole	
	SPI	RDI	Déciles	SDI	PHDI	PSDI	Indice Z
Extrêmement sec	≤ -2	$RDI_{st} < -2$	1-2	$SDI < -2$	≤ -4	≤ -4	≤ -4
sévèrement sec	$[-1,5 ; -1,99]$	$-2 \leq RDI \leq -1,5$	3-4	$-2 \leq SDI < -1,5$	$[-3 ; -3,99]$	$[-3 ; -3,99]$	$[-3 ; -3,99]$
Modérément sèche	$[-1 ; -1,49]$	$-1,5 \leq RDI \leq -1$	3-4	$-1,5 \leq SDI \leq 0$	$[-0,5 ; -2,99]$	$[-0,5 ; -2,99]$	$[-0,5 ; -2,99]$
Ordinaire	$[-0,99 ; 0,99]$	$-0,5 \leq RDI \leq +0,5$	5-6	$SDI \geq 0$	$[0,49 ; -0,49]$	$[0,49 ; -0,49]$	$[0,49 ; -0,49]$
Modérément humide	$[1 ; 1,49]$	$+1 \leq RDI \leq +1,5$	7-8		$[0,5 ; 2,99]$	$[0,5 ; 2,99]$	$[0,5 ; 2,99]$
Très humide	$[1,5 ; 1,99]$	$+1,5 \leq RDI \leq +2$	7-8		$[3 ; 3,99]$	$[3 ; 3,99]$	$[3 ; 3,99]$
Extrêmement humide	$\geq +2$	$RDI > +2$	9-10		$\geq +4$	$\geq +4$	$\geq +4$

Source : Gibbs *et al.*, 1967 ; Cutore *et al.*, 2009 et modifié
Méthode de caractérisation de risque d'inondation

L'étude de la caractérisation de risque d'inondation nécessite une analyse fréquentielle des débits et des précipitations en vue de la détermination des probabilités d'occurrence et les périodes de retour (prévision) à l'échelle des stations du bassin versant de l'Ouémé à Bétérou.

✓ Analyse fréquentielle

C'est un des outils de base de l'analyse de l'occurrence d'événements extrêmes est l'analyse fréquentielle. Cette méthode statistique a comme objectif principal d'utiliser des mesures d'événements passés pour estimer les probabilités futures d'occurrence. L'analyse fréquentielle est utilisée, en particulier, pour estimer l'ampleur de l'événement temporel x T auquel est associé une période de retour T (quantile de période de retour T ou de probabilité au dépassement $T = \frac{1}{T}$). L'estimation xT de la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité $F(x; \theta)$ à un échantillon de n observations, $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, où θ représente le vecteur de paramètres associé à la distribution de probabilité F .

Choix du modèle fréquentiel

Le choix d'un type de modèle probabiliste est souvent basé sur des habitudes locales, qui, à la longue, deviennent de véritables coutumes. Dans certains pays, il existe en effet des règles ou normes qui fixent la méthodologie d'une analyse fréquentielle.

Loi Gumbel

Dans ce travail, la loi de Gumbel est utilisée pour mener l'analyse fréquentielle. En effet, au vu des pratiques en hydrologie, cette loi est fréquemment utilisée pour modéliser des événements extrêmes, notamment pour les pluies des auteurs Béninois (Atchade, 2013 ; Koumassi, 2014). D'autre part, (Musy, 2003) a montré que les résultats calés sont souvent satisfaisants si la loi de Gumbel et la distribution empirique de Hazen se combinent.

Aussi cette combinaison sera utilisée.

La distribution de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\left(1 - c \frac{x-a}{b}\right)^{1/c}\right)$$

Où a est le paramètre de position, b le paramètre d'échelle c le paramètre de forme et x la variable, correspondant aux hauteurs de pluie et aux débits dans la présente étude.

La durée de retour T d'un événement est définie comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement ; soit :

$$T = \frac{1}{1 - F(x)}$$

Ajustement du modèle fréquentiel

La technique d'ajustement utilisée est la méthode graphique, bien qu'étant une méthode approximative, a le très grand avantage de fournir une représentation visuelle des données et de l'ajustement. Celle-ci constitue un aspect essentiel du jugement porté sur l'adéquation entre la loi choisie et les données traitées, quelle que soit la méthode d'ajustement utilisée.

Cette méthode repose sur le fait que l'expression d'un quantile correspond à l'équation d'une droite. En conséquence, les points de la série à ajuster sont reportés dans un système d'axes (x ; y). A partir de ce système d'axes, il a été alors possible de tracer la droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b définissant la loi.

Résultats

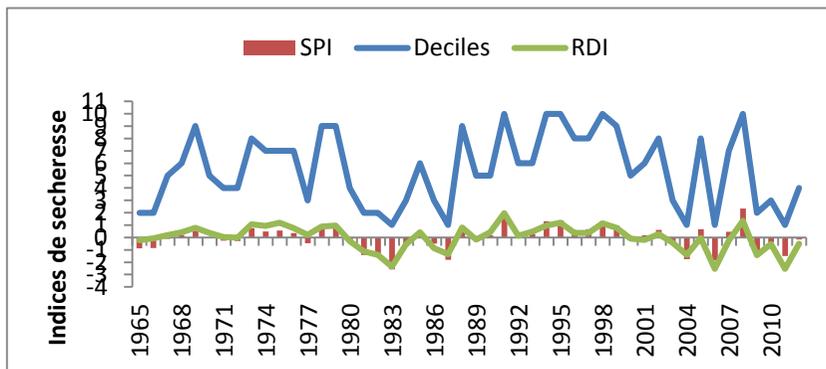
Caractérisation de la sécheresse dans le bassin versant de l’Ouémé à Bétérou

Les risques liés à la sécheresse sont abordés, car il n’y a que peu de pays qui rapportent systématiquement les pertes et effets dus à la sécheresse ; pourtant ses impacts sur la production agricole, les moyens de subsistance ruraux et les secteurs urbains et économiques sont manifestes et considérables (GAR, 2011).

Caractérisation de la sécheresse météorologique

Pour caractériser la sécheresse météorologique dans le bassin versant de l’Ouémé à Bétérou, trois indices (Déciles, RDI et le SPI) ont été calculés figure 3

Figure 3 : Indicateurs de sécheresses météorologiques dans le bassin versant de l’Ouémé à Bétérou



L’analyse de trois indices de sécheresse météorologique indique que le bassin a enregistré différents degrés de sécheresse sur la période de 1965 à 2012. La figure 5 montre, à travers une analyse comparée des trois indices de sécheresse météorologique (Décile, RDI et le SPI), que le bassin a connu sur la période de 1965 à 1990 trois années très sèches (1981, 1982 et 1987) et une année proche de l’extrême sécheresse (1983).

Aussi pour voir l’impact de ces épisodes de sécheresses sur les eaux souterraines, et les rivières dans le bassin versant, il est nécessaire de caractérisée la sécheresse hydrologique.

Caractérisation de la sécheresse hydrologique

Indice de sécheresse hydrologique de Palmer (PHDI)

Le PHDI est très similaire à l’indice de sécheresse de Palmer (PDSI) et est issu du calcul du PDSI (Cutore et al., 2009).

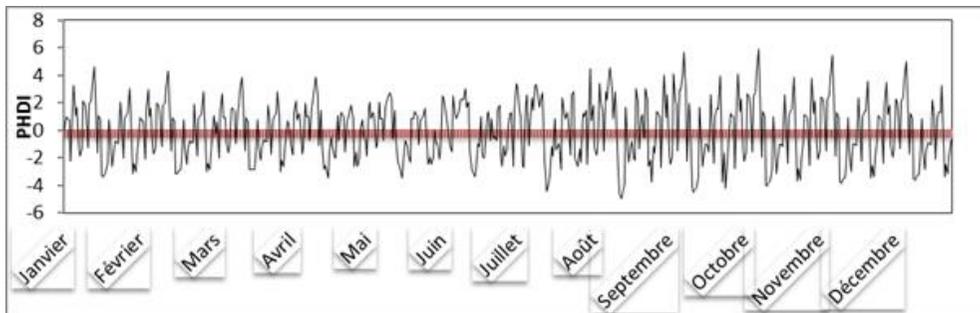


Figure 4 : Indices de sécheresse hydrologique de Palmer (PHDI)

L'analyse au pas de temps mensuel de l'indice PHDI, a permis de détecter une longue période sèche de 32 mois (Novembre 1971 à Aout 1973). La seconde période sèche ayant suivi cette dernière a été celle d'avril 1988 à juillet 1993 soit 64 mois. Il faut noter qu'au cours de cette période il y eu quelques mois dont les pluies avoisinent leurs moyennes. Après cette grande période sèche, cette zone avait connu une autre période sécheresse plus ou moins modérée de Avril 1994 à Mars 1998. Ce n'est qu'à partir d'Août 2002 à Juin 2003 que le bassin avait encore enregistré une nouvelle période sèche qui a été plus rude que la précédente. Aussi, d'avril 2008 à Décembre 2012, le bassin a connu de nouveau dans une période sèche.

Indices de sécheresse des cours d'eau (SDI)

L'analyse de la sécheresse hydrologique a été faite à l'aide du calcul de l'indice de sécheresse des cours d'eau (SDI), au pas de temps annuel, et cela a permis d'identifier les années hydrologiques sèches sur la période (1965-2012) comme le montre la figure 5.

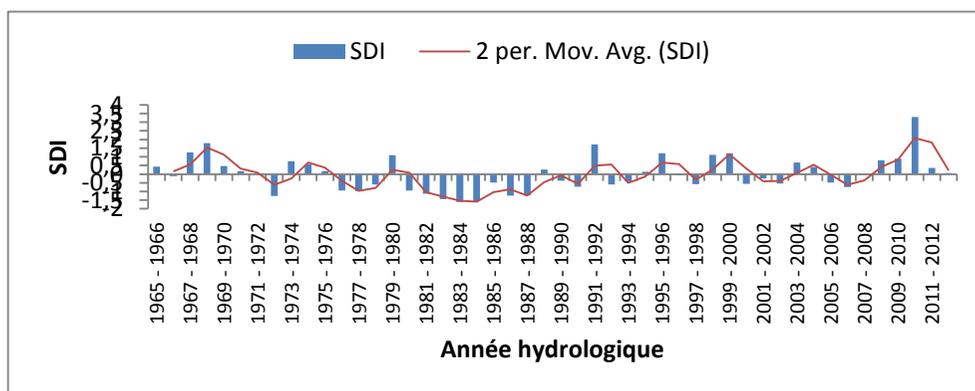


Figure 5: Indices annuels de sécheresse hydrologique sur le bassin de l'Ouémé à Bétérou

De l'analyse de cette figure 5, il ressort que, comme les données pluviométriques l'ont déjà montré, les décennies 70 et 80 ont été les plus sèches sur l'ensemble de la période considérée. Sur le bassin de l'Ouémé à

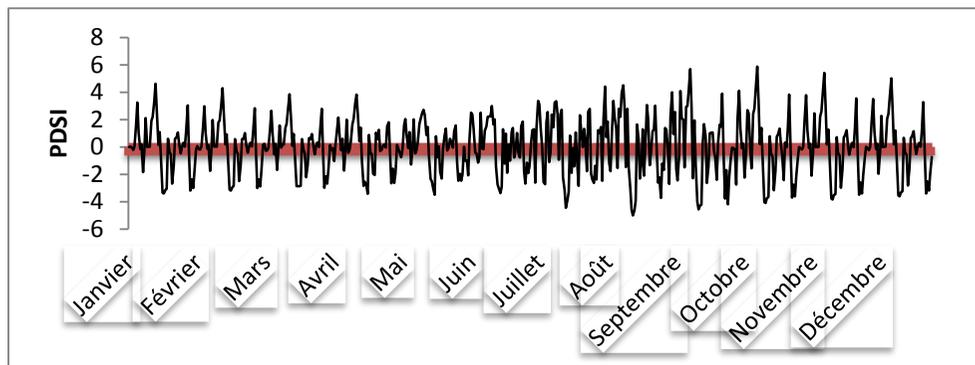
Bétérou, l'année hydrologique 1983-1984 a été la plus sèche de la période 1965-2012. Elle correspond parfaitement à l'année 1984 qui a été considérée comme celle d'une sécheresse extrême en considérant les indices météorologiques déjà calculés.

Caractérisation de la sécheresse agricole

Indicateur de sécheresse sévère de Palmer (PDSI)

Il fut développé par le météorologue Wayne Palmer en 1965. Malgré la difficulté de son calcul, cet indice s'est révélé efficace pour déterminer la sécheresse de longue durée (à l'échelle des mois), mais il ne l'est pas autant dans des cas où il s'agit d'une question de semaines. Donc ici l'indice a été calculé à l'échelle mensuelle (figure 6)

Figure 6 : Indice mensuel de sévérité de la sécheresse de Palmer à Bétérou



En observant les résultats obtenus, il ressort que l'indice PDSI a permis d'identifier les différentes périodes de sécheresse enregistrées dans le milieu. Ainsi, avant les années 1970 le milieu a connu une grande période de sécheresse 38 mois (Avril 1966 à Mars 1969) avec le mois d'Octobre 1968 comme étant le mois où la valeur du PDSI est égale à une anomalie négative de l'indice de PDSI (-2,75) traduisant ainsi une sécheresse modérée. Après cette période celles qui ont suivi ont été de courte durée et de magnitude souvent plus élevée.

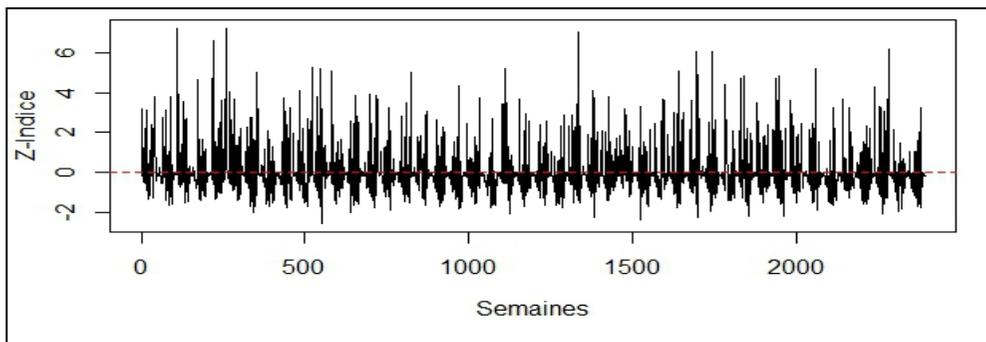
A partir de l'année 1970 jusqu'en 1997 de nouvelles périodes de sécheresse sont identifiées dans la zone, comme la période de Juin 1974 à juin 1976. Il y a aussi la période d'Août 1988 à octobre 1991. Au cours de cette période de sécheresse, les mois d'Août 1989 et 1991 ont été les mois de sécheresse extrême de toute l'histoire avec des valeurs du PDSI de -4,59 et -4,63 respectivement. Les années 1997 à 1999 ont été relativement humides, mais à partir de 2000 jusqu'en 2012, cette zone est restée sous l'influence d'une sécheresse plus ou moins modérée.

Indice Z de palmer

L'indice Z de palmer est utilisé pour la détermination de la sécheresse par rapport à l'humidité du sol. Cet indice est dérivé du calcul du PDSI.

L'anomalie d'humidité du sol pour la semaine est calculée sous forme d'indice Z comme montre la figure 7.

Figure 7: Indices hebdomadaires de sécheresse agricole (Z Indice)



L'analyse des Z indice calculé au pas de temps hebdomadaire ont permis d'identifier avec plus précision les périodes sèches ayant été observées dans le milieu. Les périodes qui n'étaient pas bien identifiées au pas de temps mensuel ont été bien repérées avec les indices calculés au pas de temps hebdomadaire. Les mêmes périodes identifiées au pas de temps mensuel avec les autres indices ont été identifiées avec plus clarté au pas de temps hebdomadaire avec l'Indice Z de palmer. Aussi, faut-il noter que ces différentes périodes ont été bien marquées dans le bassin.

Caractérisation du risque d'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou

Pour la caractérisation du risque d'inondation, d'abord le niveau de danger (probabilité d'occurrence d'un événement donné et intensité de l'aléa d'inondation) sera déterminé.

Analyse fréquentielle des hauteurs de pluie maximales susceptibles d'occasionner les risques d'inondations dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou

Pour l'aléa pluviométrique, les précipitations maximales représentent le premier facteur déclenchant des mécanismes de crue et d'inondation (Koumassi, 2014). La fréquence d'apparition des hauteurs maximales journalières de pluie dans le bassin est présentée par la figure 8.

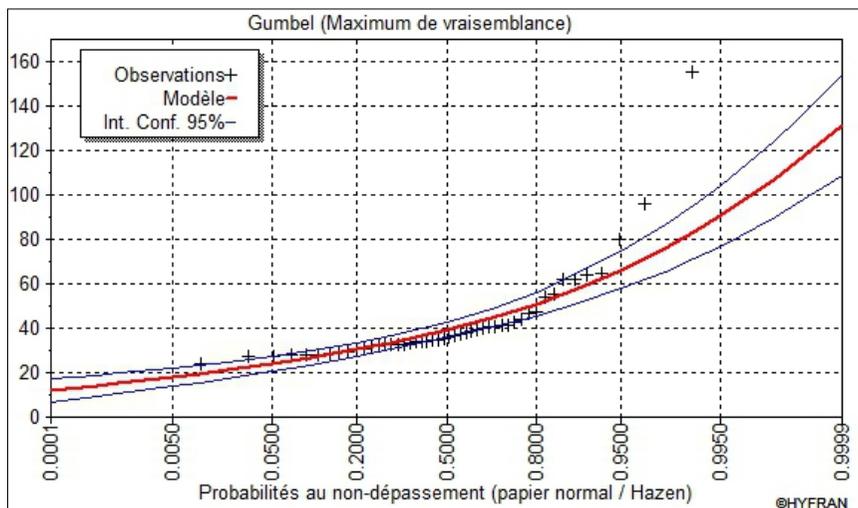


Figure 8: Ajustement de la loi de Gumbel sur le bassin versant de l’Ouémé à Bétérou

Il ressort de l’analyse de cette figure 8 que les pluies extrêmes ont tendance à mieux s’ajuster à la loi de Gumbel avec un intervalle de confiance à 95 %. L’ajustement est dans son ensemble satisfaisant, car la droite d’équation passe par les points expérimentaux. Conformément à la méthodologie de l’analyse fréquentielle, il faut assurer l’indépendance, l’homogénéité et la stationnarité de la série (Meylan ; Musy, 1999).

Tableau 2: Résultats des tests statistiques appliqués aux hauteurs de pluies maximales à Bétérou

Station	Test stationnarité		Test d’indépendance		Test homogénéité	
	K	P(0,05)	U	P(0,05)	W	P(0,05)
Bétérou	0,18	0,85	0,69	0,48	0,34	0,67

Source : Traitement de données

Il résulte de l’analyse des résultats de ce tableau que les séries pluviométriques maximales journalières sont indépendantes, homogènes et stationnaires sur le bassin

L’ajustement des pluies journalières aux tests statistiques a permis d’obtenir les quantiles estimés pour différentes périodes de retour (2, 3, 5, 10, 20, 50,100 et 200 ans). Les intervalles de confiance qui permettent d’évaluer l’incertitude associée aux estimations sont aussi estimés (tableau 3).

Tableau 3: Quantiles estimés dans le bassin versant de l’Ouémé à Bétérou

Réurrences	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	200 ans
Pluie maximale (mm)	39,2	51	58,8	66,3	76,1	83,3	90,6
	[35,5-42,6]	[45,6-56,3]	[51,9-65,7]	[57,9-74,8]	[65,6-86,6]	[71,3-95,4]	[76,9-104]

De l'analyse du tableau 3, il ressort que les hauteurs de pluie journalière de 39,2 mm ont une probabilité sur deux de se produire tous les deux ans sur le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou.

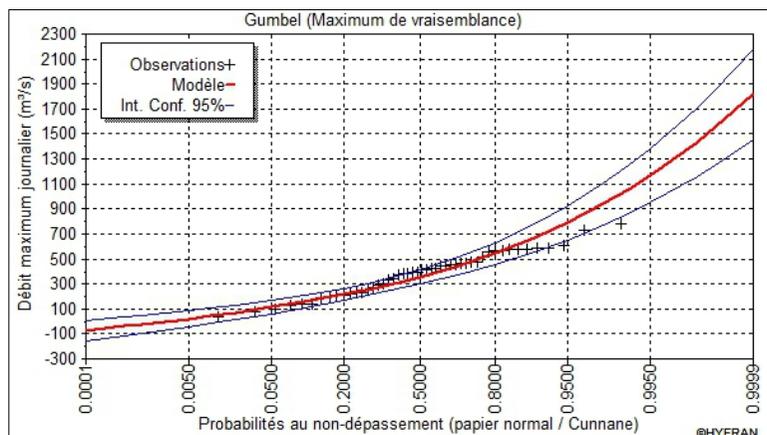
De même, celles qui ont une chance sur cinq de se produire sont 51 mm. Selon le CIRAD et le GRET (2006), au-delà de 50 mm de précipitation journalière et en fonction de la topographie du terrain (pente > 2 %), on assiste à de forts ruissellements pouvant emporter les semis et/ou détruire les cultures au champ par inondation.

Les pluies maximales dans le bassin sont donc marquées par une forte fréquence sur la série d'analyse et cela serait en partie responsable de l'augmentation de celle des débits maximaux du bassin.

Analyse fréquentielle des débits maximaux dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou

La fréquence d'occurrence des débits maximaux journaliers dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou est représentée sur la figure 9.

Figure 9: Ajustement de la loi de Gumbel au débit maximal à Bétérou



Au regard de la figure 9, les débits annuels des différents événements hydrologiques dans le bassin de l'Ouémé à Bétérou ont tendance à mieux s'ajuster à la loi de Gumbel (Méthode des moments) avec un intervalle de confiance de 95 %.

Aussi les récurrences des débits extrêmes sont également de 2, 5, 10, 20, 50, 100 et 200 ans et permettent de dire que le secteur d'étude peut être en proie à des crues exceptionnelles susceptibles d'occasionner des inondations qui ne seront pas sans conséquence sur le développement local. Pour vérifier la fiabilité des résultats, l'application des tests d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité s'avère nécessaire. Ainsi, les débits ont été soumis à ces différents tests statistiques (tableau 4)

Tableau 4: Résultats des tests statistiques appliqués aux débits maximaux à Bétérou

Station	Test stationnarité		Test d'indépendance		Test homogénéité	
	K	P(0,05)	U	P(0,05)	W	P(0,05)
Bétérou	1,1	0,26	0,75	0,45	0,83	0,40

Source : traitement des données

De l'analyse des données du tableau IV, il faut souligner les débits de pointe sur le bassin versant sont indépendants, stationnaires et homogènes.

A partir de l'équation de la droite de Gumbel, les quantiles des débits maximaux ont été calculés pour différentes périodes de retour et leurs intervalles de confiance. Les fréquences étant le mode d'apparition des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la période d'analyse, il importe d'analyser leur date de retour sur la même période. Le tableau 5 illustre les quantiles de débits maximaux suivis des temps de retour.

Tableau 5: Estimation des débits caractéristiques et les intervalles de confiance par la loi de Gumbel

Période de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	200 ans
Débits maximaux	356,3 [301-411]	540,5 [459-628]	662,5 [559-776]	779,5 [653-920]	930,9 [774-1110]	1044,4 [865-1250]	1157,4 [954-1390]

Source: traitement des données

Le tableau V montre les débits journaliers maximums annuels qui permettent d'estimer les débits de crue ayant une probabilité de subvenir dans le bassin versant. Les débits maximaux compris entre 301 et 411 m³/s ont la possibilité de subvenir chaque deux ans. Aussi ceux compris entre 459 et 628 m³/s peuvent subvenir chaque cinq et les crues décennales varient entre 559 et 776 m³/s. Or, le débit de seuil de crue de l'Ouémé à Bétérou correspondant à un risque moyen de catastrophe est compris entre 725 et 800m³/s (SAP, 2014). On peut donc dire que les débits de crues fréquentes décennales (10 ans) sont à l'origine des inondations observés dans le bassin versant.

Discussion

Les débits journaliers maximums annuels permettent d'estimer les débits de crue ayant une probabilité de subvenir dans le bassin versant. Les débits maximaux compris entre 301 et 411 m³/s ont la possibilité de subvenir chaque deux ans. Aussi ceux compris entre 459 et 628 m³/s peuvent subvenir chaque cinq et les crues décennales varient entre 559 et 776 m³/s.

Une étude similaire a été menée par Koumassi (2014), dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de Coubéri. Il a montré que l'analyse fréquentielle des débits journaliers maximums annuels (1960-2010) a permis d'estimer la crue qui a une probabilité sur deux à 212 m³/s, la crue décennale à 333 m³/s et la crue cinquantennale à 440 m³/s dans le sous bassin versant de la Sota à l'exutoire de Coubéri. Dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire, la crue qui a une probabilité sur deux à 181 m³/s, la crue décennale à 302 m et la crue cinquantennale à 408 m³. Ces valeurs caractéristiques correspondent une moyenne des quantiles obtenus selon les différentes lois retenues. Bechler et al., (2000) avaient estimé la crue décennale 2110 m³/s la crue cinquantennale 2340 m³ la crue centennale 2420 m³/s et la crue millénaire 2650 m³/s à Niamey sur le fleuve Niger.

Dans le même ordre d'idée, Kodja (2013) a estimé dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou les débits de crue avant et après la période de retour et conclut que les débits de pointe de période de retour de 2 ans sont 949 m³ /s avant la rupture et 720 m/s après la rupture. Les débits de crue décennale avant la rupture sont de 1350 m/s et 1161m³/s après la rupture.

Il ressort de cette étude que les hauteurs de pluie journalière de 39,2 mm ont une probabilité sur deux de se produire tous les deux ans sur le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou.

De même, celles qui ont une chance sur cinq de se produire sont 51 mm. Selon le CIRAD et le GRET (2006), au-delà de 50 mm de précipitation journalière et en fonction de la topographie du terrain (pente > 2 %), on assiste à de forts ruissellements pouvant emporter les semis et/ou détruire les cultures au champ par inondation. Kodja (2013) avait dans le bassin versant de l'ouémé à Bonou déterminé les hauteurs de pluies maximales à 33 mm (fréquente), 43 mm (decennale) et 54 mm (cinquantennale) et conclut que les pluies maximales responsables des inondations sont des pluies ayant une période de retour supérieure à cinq ans c'est-à-dire dont les valeurs sont supérieures à 39 mm.

Conclusion

Cette étude montre que le bassin de l'Ouémé à Bétérou connaît une alternance de période humide et sèche, ce qui constitue des périodes à risques hydroclimatiques.

Les pluies maximales dans le bassin sont marquées par une forte fréquence sur la série d'analyse. Cette forte fréquence des pluies maximales est en partie responsable de l'augmentation de celle des débits maximaux du bassin.

Il faut donc retenir que l'ajustement à la loi de Gumbel et la récurrence des pluies extrêmes laissent présager que les pluies à l'échelle des

stations du bassin de l'Ouémé à Bétérou peuvent contribuer à une forte crue, voire exceptionnelle, occasionnant des dégâts dans le secteur.

Les débits maximaux sont compris entre 301 et 411 m³/s et ont la possibilité de subvenir chaque deux ans. Aussi ceux compris entre 459 et 628 m³/s peuvent subvenir chaque cinq ans et les crues décennales varient entre 559 et 776 m³/s.

Il faut aussi signaler que les trois indices de sécheresse météorologique obtenus à partir des moyennes annuelles de précipitations et de températures ont permis d'identifier les mêmes années de sécheresse.

Ces variables estimées constituent un important outil d'aide à la décision dans les processus de recherche des stratégies de lutte contre les risques hydro-climatiques en générale.

References:

1. Alley W., M., (1984).The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1100-1109.
2. Ardoin-Bardin S., (2004). Variabilité hydroclimatique et impacts sur mes ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, 437 pages.
3. Bacci M., Genesio L., Baron C., Diarra B., Di Vecchia A., Traoré S., Hassane I., Ndiaye M., Philippon N., Tarchiani V., (2010). Overview of main challenges for early warning systems for food security in West Africa. *Geophysical Research Abstracts* 12(EGU2010-11845-1).
4. Beaudin, I., (2007). Potentiel de la télédétection pour le suivi et la caractérisation des conditions de sécheresse en milieu méditerranéen. Rapport de Maîtrise en Sciences Géomatiques, Université Laval.
5. Boko M., (2004). Gestion des risques hydro-climatiques et développement économique durable dans le bassin du Zou. Université d'Abomey-calavi/Laboratoire de Climatologie. 51p
6. CIRAD et GRET, (2006). Mémento de l'agronome. Paris 1635 p
7. Cutore, P., Di Mauro, G., & Cancelliere, A. (2009). Forecasting Palmer Index using neural networks and climatic indexes. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14, 588 – 595.
8. GAR, (2011). Réduction des risques de catastrophe: Révéler le risque, redéfinir le développement Bilan mondial 2011
9. Gibbs, W.J. & Maher, J.V., (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators. Director of Meteorology of Melbourne, Australia, 32p.

10. Heim, R.R. (2002). A review of Twentieth-Century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1149 – 1165
11. Koumassi D. H. (2014). Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota a l'exutoire de Couberi. Thèse de Doctorat. Géoscience de l'Environnement et Aménagement de l'Espace, 245p.
12. Kodja D. J., (2013). Etudes des risques hydroclimatiques dans la vallée de l'Ouémé a Bonou, Mémoire de DEA/EDP, Université d'Abomey-calavi, 102p
13. Meylan P. et Musy I. (1999). Hydrologie générale : Analyse fréquentielle. *Annale revue hydrologie*. 19 P.
14. Nalbantis, I., Tsakiris, G., (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881- 897.
15. Palmer, W.C., (1965). Meteorological drought. U.S. Weather Bureau Research Paper, No. 45, 58 pp.
16. PANA (2008) Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Bénin (PANA-Bénin) Cotonou, janvier 2008 ; 158 p.
17. Tschakert P., (2007). Views from the vulnerable: Understanding climatic and other stressors in the Sahel. *Global Environmental Change*, 17, pp. 381-396.
18. Weber, L., & Nkemdirim, L. (1998). Palmer's drought indices revisited. *Geografiska Annaler*, 80A, 153 –172.
19. Zannou B. Y. (2011). Analyse et Modélisation du Cycle Hydrologique Continental pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Bénin Cas du Bassin versant de l'Ouémé à Bétérou. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey- Calavi, 356p