

# *Indicateurs Des Risques Hydroclimatiques Dans Les Communes De Karimama Et Malanville Au Nord-Est Du Benin*

## *Indicators Of Hydroclimatic Risks In The Municipalities Of Karimama And Malanville In The North-East Of Benin*

Adam N'djai Arzouma AROUNA<sup>1</sup>, Victorin Vidjannagni GBENOU<sup>3</sup>, Olivier KOUDAMILORO<sup>1</sup>, Expédit Wilfrid VISSIN<sup>1 et 2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

<sup>2</sup>Enseignant Chercheur au Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT, FASHS, UAC, Rép. du Bénin)

<sup>3</sup>Département de Sociologie-Anthropologie, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Corresponding Author: Adam N'djai Arzouma AROUNA



**Résumé** – La mise en évidence des risques hydroclimatiques constitue un défi majeur pour les dirigeants africains, spécifiquement ceux de l'Afrique de l'Ouest qui présentent une sensibilité élevée aux situations d'extrêmes climatiques. L'objectif de ce travail est d'examiner les risques hydroclimatiques dans les Communes de Karimama et Malanville.

L'approche méthodologique adoptée à nécessité l'utilisation des données climatologiques (hauteur de pluies journalières et mensuelles) et hydrométriques (débits) de 1971 à 2020 ont été collectées. Les données ont ensuite été traitées à l'aide des méthodes de statistique descriptive.

L'analyse des hauteurs pluviométriques et l'application du test de Buishand et de Pettitt à la série des données (1971-2020) qui a permis d'identifier à un seuil de significativité de 95 %, une rupture chronologique en 1991 dans les communes de Karimama et de Malanville. Il apparaît deux sous périodes notamment de récession pluviométrique de 1971 à 1991 avec une moyenne de 754,8 mm et un écart-type de 116,37 mm et la période de reprise des hauteurs pluviométriques de 1992 à 2020 pour une moyenne de 828,27 mm et un écart de 162,41 mm. Ainsi, la sous-période 1992-2020 est plus humide par rapport à la sous-période 1971-1992, avec un optimum en août (259,20 mm). Les mois de novembre à juillet sont les mois de faible écoulement. A partir de la fin du mois d'août à novembre, le niveau des cours d'eau augmente. Les crues ont lieu aux mois d'août, septembre et octobre et l'étiage dure toute la saison sèche de novembre à juin. Les risques hydroclimatiques majeurs auxquels font face les populations sont les inondations (92,33 %), l'érosion (89,64 %), la sécheresse (57,11 %), la chaleur excessive (40,21 %) et les vents violents (33,22 %). Ces risques sont diversement perçus par les populations du secteur d'étude. Face à une telle situation la mise en œuvre des stratégies appropriées et efficaces doivent être prises pour réduire la vulnérabilité des populations.

**Mots clés** – Communes de Karimama et Malanville, risques hydroclimatiques, déficits pluviométriques, vulnérabilité

**Abstract** – Highlighting hydroclimatic risks constitutes a major challenge for African leaders, specifically those in West Africa who are highly sensitive to extreme climate situations. The objective of this work is to examine the hydroclimatic risks in the Municipalities of Karimama and Malanville.

The methodological approach adopted required the use of climatological data (daily and monthly rainfall) and hydrometric data (flows) from 1971 to 2020 were collected. The data were then processed using descriptive statistical methods.

The analysis of rainfall heights and the application of the Buishand and Pettitt test to the data series (1971-2020) which made it possible to identify, at a significance threshold of 95%, a chronological break in 1991 in the municipalities of Karimama and Malanville. There are two subperiods in particular of rainfall recession from 1971 to 1991 with an average of 754.8 mm and a standard deviation of 116.37

mm and the recovery period of rainfall heights from 1992 to 2020 for an average of 828.27 mm and a deviation of 162.41 mm. Thus, the 1992-2020 subperiod is more humid compared to the 1971-1992 subperiod, with an optimum in August (259.20 mm). The months from November to July are the months of low flow. From the end of August to November, the water level rises. The floods take place in the months of August, September and October and the low water lasts throughout the dry season from November to June. The major hydroclimatic risks facing the populations are floods (92.33%), erosion (89.64%), drought (57.11%), excessive heat (40.21%) and strong winds (33.22%). These risks are variously perceived by the populations in the study area. Faced with such a situation, the implementation of appropriate and effective strategies must be taken to reduce the vulnerability of populations.

**Key words – Municipalities of Karimama and Malanville, hydroclimatic risks, rainfall deficits, vulnerability**

## INTRODUCTION

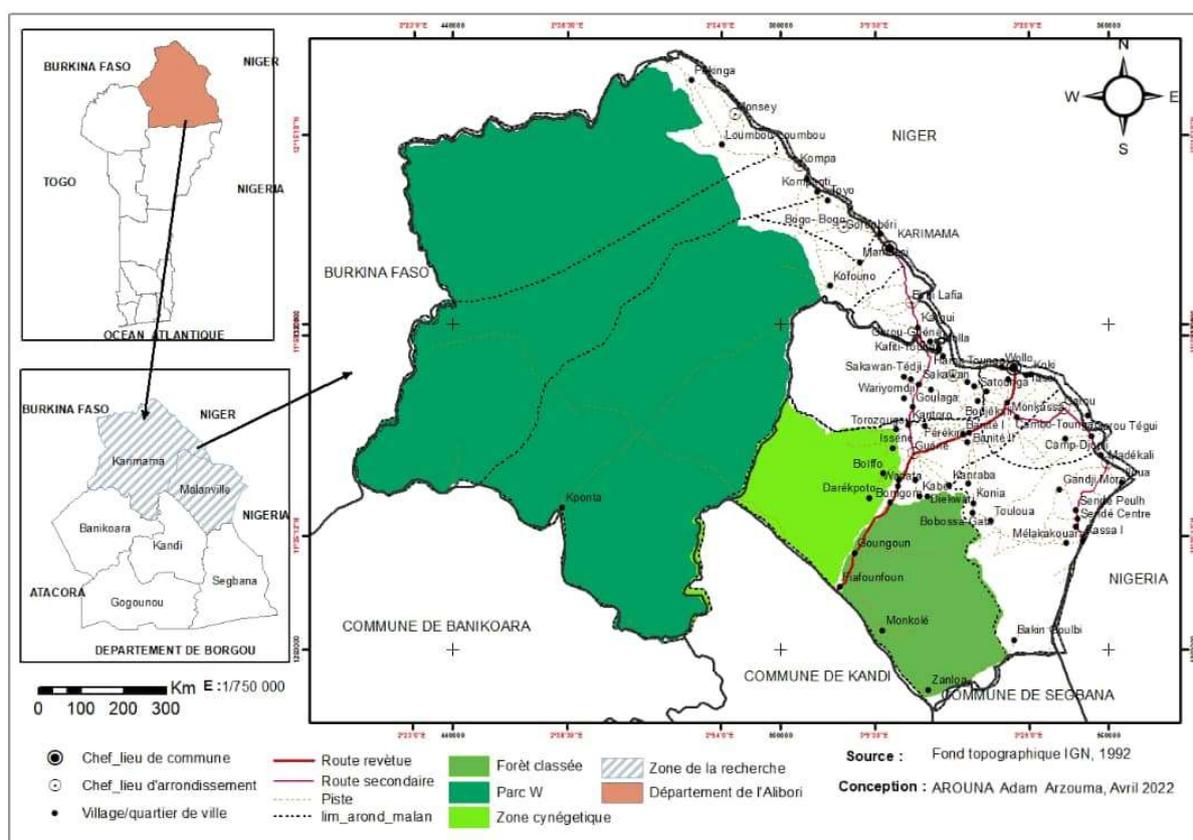
Le changement climatique est devenu un facteur crucial d'évolution (C. Parrod et al., 2020, p. 03). En effet, les changements climatiques provoquent de nombreuses catastrophes naturelles, impactent les écosystèmes et pourraient entraîner de nombreux bouleversements à l'échelle planétaire (A. Faye, 2022 et al., p. 15). Le sixième rapport du GIEC (2022, p. 4), réaffirme que le réchauffement climatique provoque notamment une hausse de l'instabilité climatique et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes : canicules, sécheresses, incendies, mais aussi, inondations, tempêtes, cyclones. Le réchauffement climatique affecte aussi de manière globale les écosystèmes, notamment les plus fragiles, il perturbe la vie des sols, le cycle de l'eau, la vie des océans. Les grandes sécheresses du siècle dernier (1937-38, 1947-48) sont encore dans les mémoires : elles ont provoqué d'importantes famines. Ces épisodes de sécheresse prolongée viennent rappeler que la Tunisie est un pays semi-aride et aride dont les ressources en eau sont fondamentalement insuffisantes. Les préjudices socioéconomiques des sécheresses restent extrêmement élevés notamment dans le domaine de l'agriculture (A. Hamdane, 2015, p. 6).

Par ailleurs, le Sahel et l'Afrique de l'Ouest sont, selon le GIEC (2007, p. 5), parmi les régions les plus vulnérables aux fluctuations climatiques futures. Le Sahel doit compter aussi avec une forte croissance démographique (3 % en moyenne par an), qui contribue à une dégradation forte et continue des ressources naturelles, aggravant ainsi la pauvreté et l'insécurité alimentaire. Les perspectives démographiques s'accordent sur une population de 100 millions de personnes à l'échéance 2025, avec la moitié de cette population dans les villes (PNUE, 2011, p. 4). Aussi, 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 (C. Baron *et al.*, 2010, p. 3).

Au Bénin, en plus des effets pervers de la forte anthropisation sur les écosystèmes naturels, les événements climatiques constituent l'une des principales calamités naturelles liées aux événements climatiques extrêmes (E. Amoussou, 2010, p. 282-283). Les études menées dans le secteur d'étude par E. W. Vissin (2007, p. 116 ; 155) et S. S. Tassigui *et al.*, (2020, p. 46-49) indiquent que les sous-bassins versants de la Mékrou et de l'Alibori situés en zone soudano-sahélienne, ont subi la variabilité climatique et ont été affecté à un certain degré par une variation de leur régime d'écoulement au cours des dernières décennies. Dans cette zone, une baisse importante et une rupture nette des séries pluviométriques a été observée autour des années 1968-1972, avec l'année 1972 comme année charnière. Les auteurs soulignent également une recrudescence notable de la sécheresse qui s'est manifestée en 1983 et 1984 et les déficits persistent jusqu'à ces dernières années. De ce fait, il est opportun de mener une étude sur les indicateurs des risques hydroclimatiques dans les Communes de Karimama et Malanville, pour réduire la vulnérabilité des populations aux risques liés à la variabilité hydroclimatique.

## I. SECTEUR D'ETUDE

Le milieu d'étude représenté par les Communes Karimama et de Malanville est situé dans le département de l'Alibori (figure 1) entre les parallèles 11°50' et 12°30' de latitude nord d'une part et les méridiens 2°43' et 3°20' de longitude est. Il est limité au nord par le fleuve Niger et le Burkina-Faso, au sud par les communes de Banikoara, de Kandi et de Ségbana, à l'est par la république fédérale du Nigeria et à l'ouest par le Burkina-Faso.



**Figure 1** : Situation géographique des Communes de Karimama et Malanville

## II. DONNEES ET METHODES

### 2.1. Données utilisées

Plusieurs données ont été utilisées dans le cadre de cette recherche. Il s'agit : des séries climatiques relatives aux chroniques de pluie (journalière, mensuelle et annuelle), température Moyenne, maximale et minimale sur la période 1971 à 2020 issues de la station synoptique de Kandi ; les débits (journalière, mensuelle et annuelle), de la station de Malanville et concerne le fleuve Niger, les données démographiques et les données socioéconomiques issues des investigations auprès des populations. Chaque type de données et informations collectées a été traité suivant des méthodes spécifiques.

### 2.2. Méthodes utilisées

La taille de l'échantillon pour les enquêtes de terrain a été déterminée de manière raisonnée en se basant sur les critères suivants : être producteur ou acteur du système des transports et avoir vécu permanentement dans le milieu ces trente dernières années, être technicien du secteur de la production agricole ou responsable d'une quelconque organisation paysanne (OP), ou des transporteurs intervenant dans le milieu de recherche. Au total 350 personnes dont 102 acteurs du système de transport ont été enquêtées dans 20 villages dans le cadre cette étude. Les méthodes utilisées dans le cadre de ce travail sont essentiellement statistiques. Elles procèdent notamment de la reconstitution des séries statistiques et de l'analyse des données hydroclimatiques.

#### 2.2.1. Comblement des données climatiques manquantes

L'analyse des séries d'observations pluviométriques révèle que les stations disponibles présentent des lacunes à l'échelle mensuelle (d'un à plusieurs mois). Ces lacunes sont dues soit à l'absence de l'observation soit à une défaillance du pluviomètre. Le comblement

de ces données manquantes a été établi à l'aide de la méthode de corrélation linéaire. C'est un outil statistique qui permet d'étudier la force d'association entre deux variables linéaires (A. Akognobè, 2014, p. 32), il définit une loi. La droite de régression représente la tendance moyenne de corrélation entre  $x$  et  $y$ . Le but est de linéariser la représentation du phénomène sous la forme :  $y = ax + b$  (D. H. Koumassi, 2014, p. 64).

La corrélation est établie soit entre les données de différentes années sur la même station, soit entre les données de la station d'étude et celles d'une station voisine. Cette corrélation est retenue si et seulement si le coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 75 %. Cependant, les années ne disposant d'aucune donnée n'ont pu faire l'objet de comblement afin de ne pas biaiser les résultats.

La méthode de comblement par prévision permet de calculer ou de prévoir une valeur capitalisée à partir de valeurs existantes. La valeur prévue est une valeur  $x$  pour une valeur  $y$  donnée.

Les valeurs connues sont des valeurs  $x$  et  $y$  existantes et, la nouvelle valeur prévue est calculée par la méthode de régression linéaire. L'équation de la fonction prévision est  $a + bx$ , où  $a = \bar{y} - b\bar{x}$  et  $b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2}$  avec  $x$  et  $y$  les moyennes d'échantillon moyenne ( $\bar{x}$  connus) et moyenne ( $\bar{y}$  connus),  $x$  représente l'observation dont la valeur va être prévue ;  $\bar{y}$  connus représente la matrice ou la plage de données dépendantes ;  $\bar{x}$  connus représente la matrice ou la plage de données indépendantes.

### 2.2.2. Moyennes arithmétiques des données climatiques

La moyenne arithmétique est l'outil statistique le plus fréquemment utilisé dans les études de climatologie (C. Houndénou, 1999, p. 93). Dans cette étude, elle a été calculée sur une série de 51 ans, et elle demeure représentative du climat sur une longue période. Les totaux pluviométriques permettent d'étudier les quantités de pluies et leurs rythmes. Ils sont calculés par la méthode du simple cumul :  $n_1 + n_2 + \dots + n_{12}$ . Avec  $n_i$  = valeurs journalières et mensuelles. Paramètre de tendance centrale, la moyenne arithmétique  $X$  est utilisée pour étudier les régimes pluviométriques sur une période de 60 ans.

### 2.2.3. Méthode d'analyse des ruptures de stationnarité et de comparaison des moyennes à partir du test de Pettitt

Pour déterminer les années de rupture et faire la comparaison des moyennes pluviométriques, le test de A. Pettitt (1979) a été appliqué. Le test de détection de rupture de Pettitt (D. H. Koumassi, 2014, p. 99) dont l'hypothèse nulle consiste en l'instabilité dans l'égalité des moyennes de deux sous-séries issues de la série initiale (A. Akognobè, 2014, p. 40), permet d'indiquer les grandes périodes d'évolution de la pluviométrie, du nombre de jours de pluie, des températures et des fortes pluies. La rupture peut se définir comme le point à partir duquel un changement brusque ou saut intervient dans une série chronologique (A. Pettitt, 1979). Chaque sous-échantillon obtenu est également soumis à ce test ; subdivisant ainsi les séries en périodes globalement homogènes et présentant des moyennes significativement différentes les unes des autres.

**Test de Pettitt :** Le test de Pettitt, non paramétrique est dérivé du test de MannWhitney. L'absence de rupture dans la série  $X_i$  de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , les séries chronologiques ( $X_i$ )  $i=1$  à  $t$  et  $t+1$  à  $N$  appartiennent à la même population (B. Doukpolo, 2014, p.51). Ce test repose sur le calcul de la variable  $U_{t,N}$  définie par :  $U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$  où  $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$

Avec  $\text{sgn}(Z) = 1$  si  $(Z) > 0$  ;  $0$  si  $Z=0$  et  $-1$  si  $Z < 0$ . Soit  $K_N$  la variable définie par le maximum en valeur absolue de  $U_{t,N}$  pour  $t$  variant de 1 à  $N-1$ . Si  $K$  désigne la valeur de  $K_N$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $K$  est donnée approximativement par :  $\text{Prob}(K_N > K) \approx 2 \exp(-6K^2 / (N^3 + N^2))$ . Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donnée, si  $\text{Prob}(K_N > K)$  est inférieure à  $\alpha$ .

**Test de Buishand et Ellipse de Bois :** Le test de Buishand est un test paramétrique dont la statistique est définie à partir du maximum de la somme cumulée des écarts à la moyenne ou à la médiane. C'est un test permettant la détection d'une rupture temporelle dans une série de données. L'hypothèse alternative de ce test étant un changement brutal de la moyenne, la fonction puissance est estimée en générant des séries à partir de variables normales indépendantes de même variance mais présentant une rupture de la moyenne à partir d'un individu choisi aléatoirement (B. Doukpolo, 2014, p. 51).

Le test paramétrique t est utilisé pour comparer deux moyennes  $X_1$  et  $X_2$  des deux sous séries d'effectifs respectifs  $n_1$  et  $n_2$  obtenues de part et d'autre du point de rupture. C'est un test paramétrique de Student qui permet d'évaluer la significativité du coefficient de régression. Cette méthode permet de déterminer la hausse ou la baisse en pourcentage des précipitations et les écarts de températures. La statistique utilisée dans ce test est :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

avec  $\bar{X}_1$  = Moyenne avant l'année de rupture ;  $\bar{X}_2$  = Moyenne après la rupture ;

$n_1$  = Nombre d'éléments de la première série ;  $n_2$  = Nombre d'éléments de la 2<sup>ème</sup> série.

$S^2$  désigne la variance pondérée du groupe entier des deux échantillons soit :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (X_{1,i} - \bar{X}_1)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (X_{2,i} - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Pour cerner l'évolution interannuelle de la pluviométrie, des températures (maximales et minimales), des fortes pluies par rapport à la moyenne de la période considérée, la méthode de détection de rupture de la stationnarité des séries chronologiques a été utilisée dans cette étude : le test de Pettitt consiste à découper la série principale de N éléments en deux sous séries. A chaque instant, t est compris entre 1 et N-1. La série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous-séries ont des distributions différentes. Le test de Pettitt a été choisi pour son utilisation dans de nombreuses études de détection de changement de la stationnarité en Afrique de l'Ouest (A. Akognobè, 2014, p. 42 et H. Koumassi, 2014, p. 100), pour sa puissance surtout en ce qui concerne le test de rupture (M. Lanokou, 2016, p. 55) et, pour sa robustesse (T. Codjo, 2017, p. 56).

Détermination des années excédentaires et des années déficitaires

L'indice standardisé de précipitations « SPI » (Standardised Precipitation Index) peut caractériser les déficits et excédents de précipitation pour une période donnée. Il se fonde d'une part, sur la définition d'un seuil pour se prononcer sur l'état ou non de sécheresse en déclarant la période, objet de l'étude, sèche ou pas et présuppose d'autre part, l'identification de l'année normale ou moyenne. A l'issue de cette opération, il est possible de déterminer le nombre d'années par gamme SPI et la signification correspondante en terme d'ampleur du phénomène climatique (tableau I) à partir de l'équation suivante :  $SPI = (p_i - p_m) / \sigma$

$P_i$  est la Précipitation de l'année i,  $P_m$  la Précipitation moyenne et  $\sigma$  la

Déviatoin standard ou écart type.

**Tableau I :** Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur du SPI

Classe SPI	Interprétation
$SPI > 2$	Humidité Extrême
$1 < SPI < 2$	Humidité Forte
$0 < SPI < 1$	Humidité modérée
$-1 < SPI < 0$	Sécheresse Modérée
$-2 < SPI < -1$	Sécheresse Forte
$SPI < -2$	Sécheresse Extrême

Les avantages de cet indice résident dans le fait qu'il est simple (utilise seulement les précipitations) et qu'il peut être calculé pour différentes échelles de temps, utilisé dans l'alerte précoce à la sécheresse et aider dans l'évaluation de sa sévérité.

### 2.2.4. Méthode de caractérisation des risques hydroclimatiques dans les Communes de Karimama et de Malanville

L'étude des risques hydroclimatiques peut se faire par plusieurs méthodes. La détermination des risques hydroclimatiques prend en compte de nombreux paramètres comme le montre l'équation du risque :

$$R = f(A, E, V, I, t, s)$$

A = aléa, E = enjeux ou éléments à risque, V = vulnérabilité, I = résilience, t et s = dimensions spatio-temporelles.

Le risque est exprimé selon United Nations Disaster Relief Office (UNDRO) par le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité (O. Koudamiloro, 2017, p. 60).

Risque = Aléa \* Vulnérabilité

Pour l'évaluation du risque d'inondation ou de sécheresse, les variables définies sont entre autres : la densité de drainage, la géologie, le domaine structural, le drainage souterrain, la pente, la perméabilité induite par le réseau de fracture, le type d'occupation du sol, la température du sol, et l'intensité pluviométrique, etc. Le risque hydroclimatique dans cette étude résulte de la combinaison de la vulnérabilité et de l'aléa.

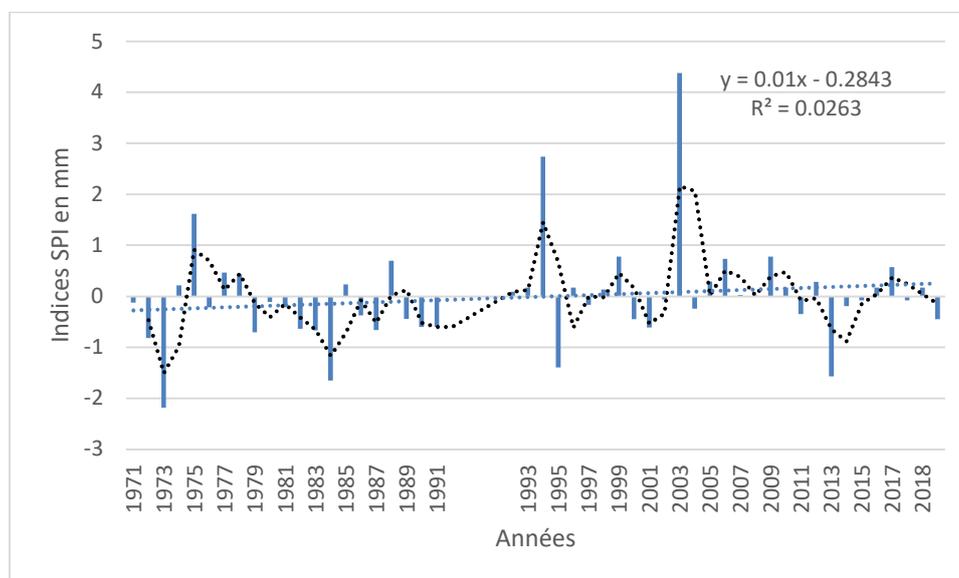
## III. RESULTATS

### 3.1. Analyse de la variabilité hydroclimatique

Cette partie traite le régime moyen mensuel des précipitations, le régime pluviométrique et les indices pluviométriques dans les Commune de Karimama et de Malanville.

#### 3.1.1. Evolution interannuelle des hauteurs pluviométriques

La figure 2 présente la variation interannuelle des hauteurs de pluies sur la période 1971-2020 dans les Commune de Karimama et de Malanville.



**Figure 2 :** Evolution interannuelle des hauteurs pluviométriques dans les Commune de Karimama et de Malanville

**Source :** Météo-Bénin (station de Kandi), 2023

L'analyse de la figure 2 montre une alternance d'années pluviométriques sèches et humides au niveau de la station de Kandi. Il est constaté que le secteur présente une tendance pluviométrique annuelle légèrement à la hausse. Les variations pluviométriques révèlent donc des irrégularités sur l'ensemble du secteur d'étude. Ces résultats permettent de dire que la sécheresse actuelle a été amorcée depuis les années 1970 et persiste jusqu'à nos jours. La méthode non paramétrique de Pettitt a été appliquée aux séries pluviométriques annuelles (1971-2020) de la station de Kandi dans le secteur d'étude, pour l'identification de la rupture de stationnarité.

### 3.1.2. Analyse de la rupture de stationnarité dans les chroniques de pluie

La figure 3 présente la rupture de stationnarité dans l'évolution de la pluviométrie annuelle moyenne dans les Commune de Karimama et de Malanville.

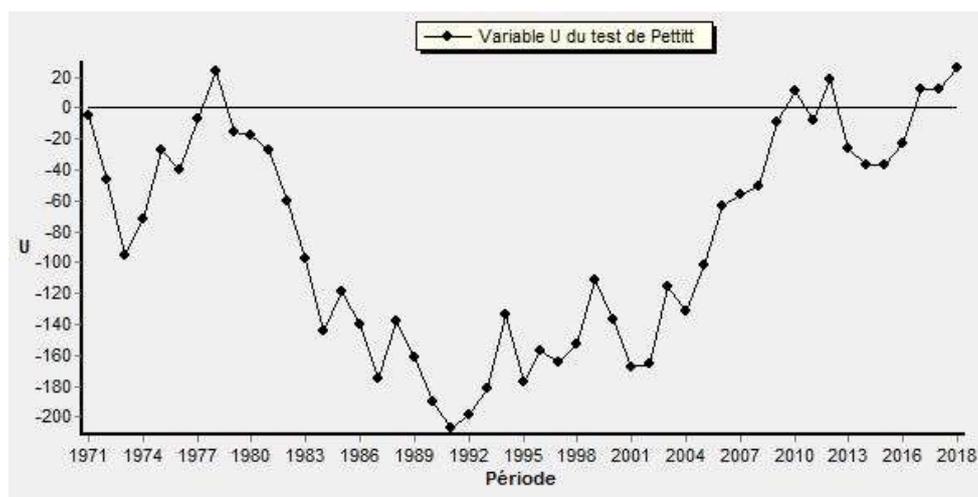
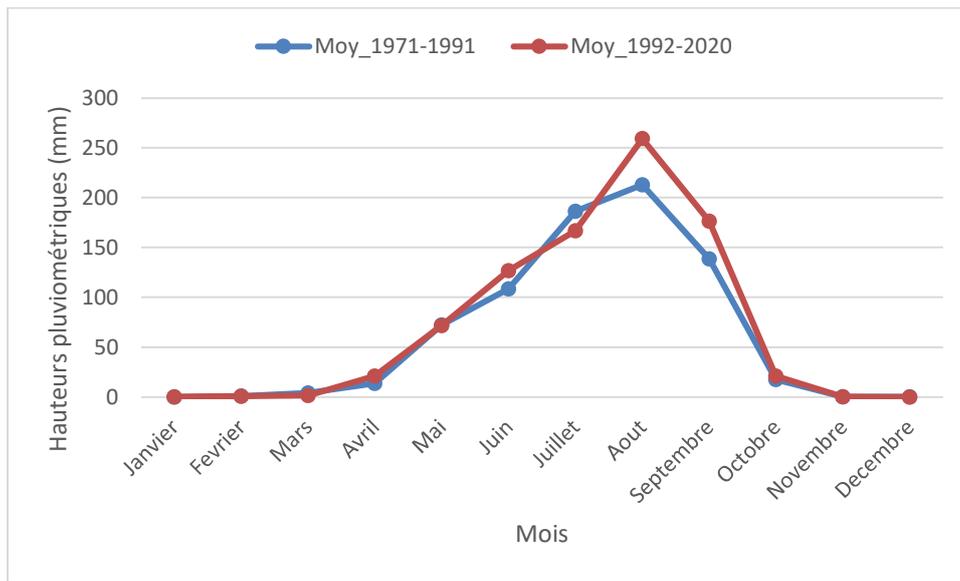


Figure 3 : Rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques du secteur de recherche

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2023

L'analyse de la figure 3 montre l'application du test de Buishand et de Pettitt à la série des données (1971-2020) qui a permis d'identifier à un seuil de significativité de 95 %, une rupture chronologique en 1991 dans les communes de Karimama et de Malanville. Il apparaît deux sous périodes notamment de récession pluviométrique de 1971 à 1991 avec une moyenne de 754,8 mm et un écart-type de 116,37 mm et la période de reprise des hauteurs pluviométriques de 1992 à 2020 pour une moyenne de 828,27 mm et un écart de 162,41 mm.

En effet, l'évolution inter-mensuelle comparée des hauteurs pluviométriques montre que globalement la sous période 1971-1991 a été moins humide que celle de 1992-2020 (figure 4).



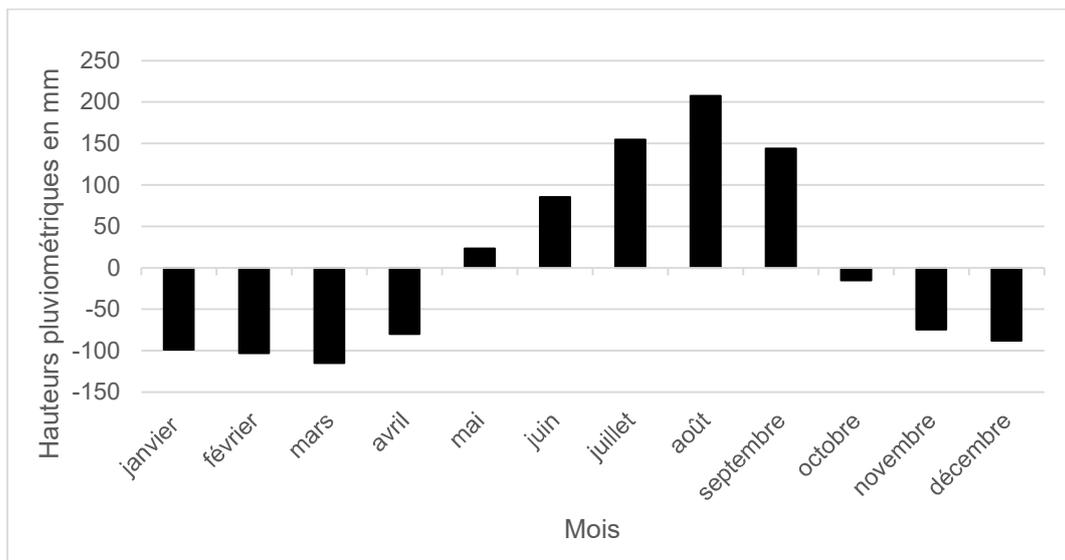
**Figure 4** : Régimes pluviométriques sur les sous-périodes 1971-1991 et 1992-2020

**Source** : Météo-Bénin (station de Kandi), 2023

L'analyse comparative des régimes pluviométriques sur les périodes 1971-1991 et 1992-2020 montre dans l'ensemble que les hauteurs de pluies mensuelles ont été plus importantes au cours de la période 1992-2020 que celle de 1971-1991. En effet, la sous-période 1992-2020 est plus humide par rapport à la sous-période 1971-1992, avec un optimum en août (259,20 mm). L'évolution de la pluviométrie moyenne inter mensuelle des deux sous-périodes indique que les périodes ayant de fortes hauteurs de pluie dans l'année s'étendent de juin à septembre dans le secteur d'étude.

### 3.1.3. Analyse du bilan climatique dans les Commune de Karimama et de Malanville

Le bilan climatique est la différence entre les hauteurs pluviométriques (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP). La figure 5 présente l'évolution mensuelle du bilan climatique dans les Commune de Karimama et de Malanville.



**Figure 5** : Evolution saisonnière du bilan climatique dans les Communes de Karimama et de Malanville

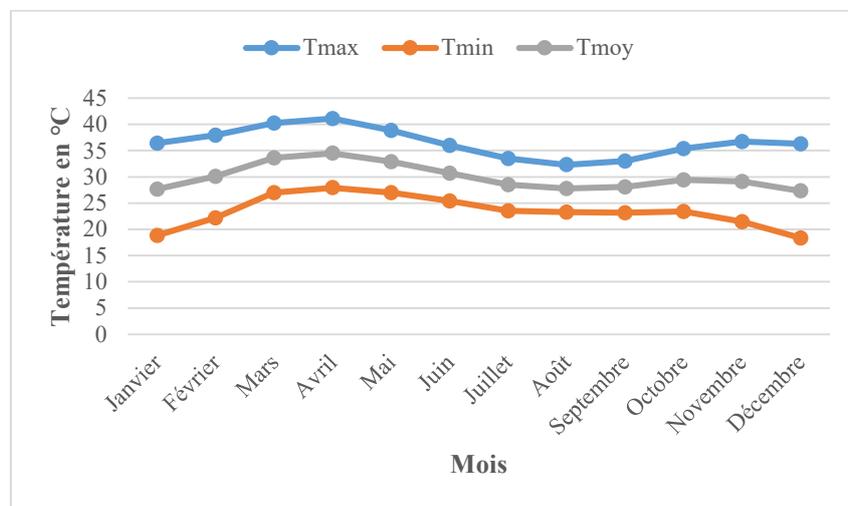
Il ressort de l'analyse de cette figure 5, que les mois de mai, juin, de juillet, d'août et de septembre enregistrent un bilan climatique excédentaire alors que les autres mois ont un bilan climatique déficitaire du fait de l'importance de l'évapotranspiration durant ces mois. Deux périodes opposées se dégagent donc de cette figure 11 à savoir :

- une 1ère période qui s'étend sur les mois de Mai à septembre, représentant la période qui fournit des surplus en eau aux Commune de Karimama et de Malanville.

- une deuxième période qui s'étend sur les mois d'octobre à Avril ou la demande de l'atmosphère en évaporation est plus importante avec un fort taux d'amenuisement voire l'assèchement des réserves d'eau du sol dans les sous-bassins. Cette situation influence fortement le fonctionnement hydrologique du bassin du Niger qui prend en compte les Commune de Karimama et de Malanville.

### 3.1.4. Rythmes thermométriques des Communes de Karimama et de Malanville

La figure 6 montre l'évolution mensuelle de la température entre 1971 et 2020.



**Figure 6** : Evolution mensuelle des températures entre 1971 et 2020 à la station synoptique de Kandi

*Source : Météo-Bénin (station de Kandi), 2020*

L'examen de la figure 6 montre que les températures maximales varient en moyenne entre 32,32 °C en août et 41,17 °C en avril. Ce régime thermométrique s'explique par une forte radiation directe et une faible nébulosité pendant ces mois. Les plus faibles valeurs de la température maximale sont enregistrées en juillet, août et septembre. En effet, l'humidité du sol au cœur de la saison pluvieuse diminue le flux de chaleur sensible en augmentant le flux de chaleur latente. La fin de la saison des pluies entraîne une augmentation de la température qui va être très rapidement contrariée par la baisse du rayonnement solaire dès novembre.

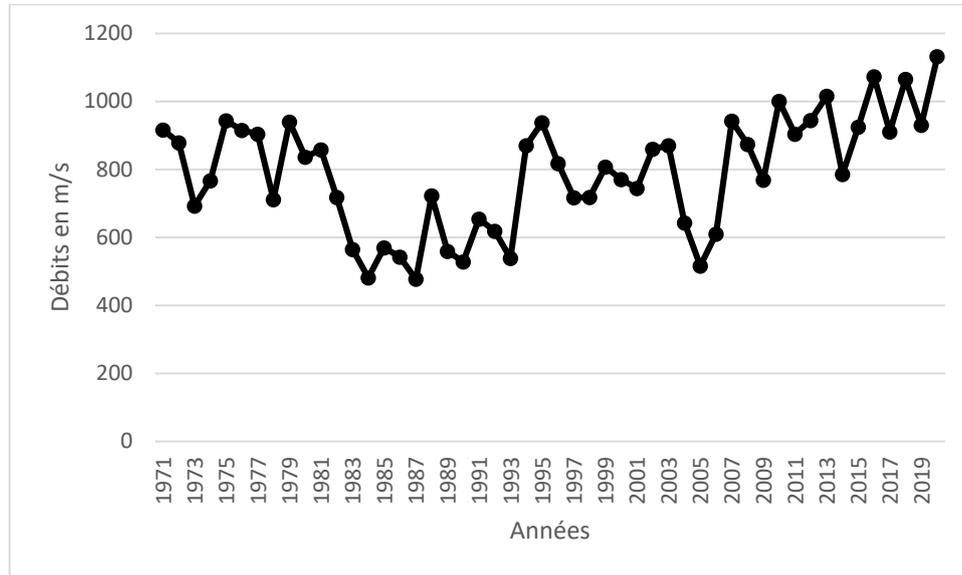
Quant à la température moyenne, elle varie entre 27,35 et 34,52 °C avec un écart de 7,17 °C. Les températures minimales mensuelles varient entre 17,38 °C en décembre et 27,94 °C en avril. Le rythme annuel de la température est unimodal dans le département de l'Alibori. Manifestement, les mois de février, mars, avril et mai détiennent les plus grandes valeurs de température traduites par une forte chaleur qui apparaît très éprouvante aussi bien pour les retenues d'eau que des populations locales.

### 3.2. Impact de la variabilité pluviométrique sur les ressources en eau

La variabilité pluviométrique et la sécheresse observée sur la période d'étude, affectent les cours d'eau et rivières des Commune de Karimama et de Malanville.

### 3.2.1. Variation interannuelle du débit dans les Commune de Karimama et de Malanville

La figure 7 présente la variation interannuelle et mensuelle de l'écoulement dans les Commune de Karimama et de Malanville.

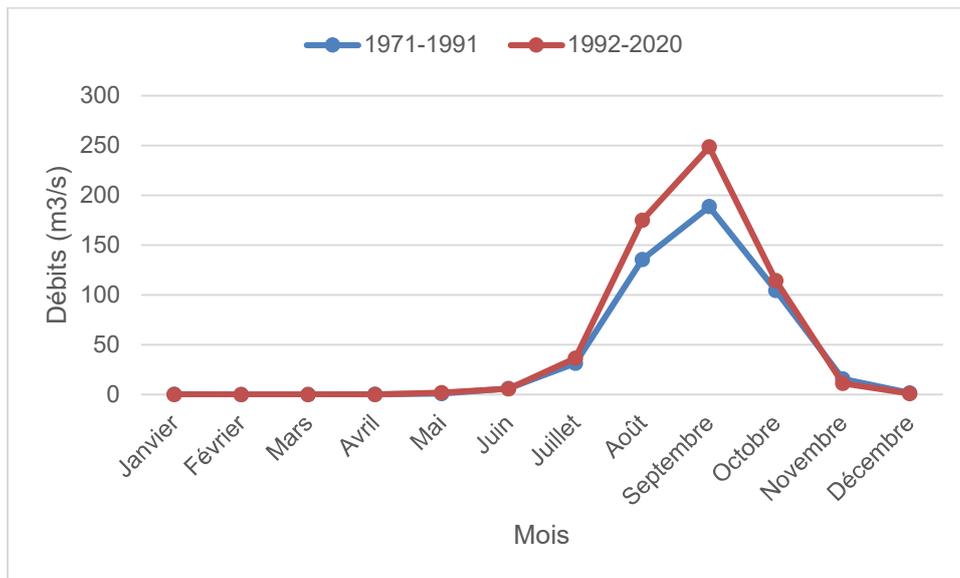


**Figure 7** : Evolution interannuelle de la lame d'eau écoulée de 1971 à 2020

L'analyse de la figure 7 montre que les Commune de Karimama et de Malanville, a connu sur la période de 1971-1991, le taux des écoulements ont chuté progressivement. Ces taux autres fois 366 mm en 1973 se sont retrouver à un taux inférieur de 81 mm en 1997 par contre durant la période de 1998 -2018, ce taux augmente progressivement jusqu'à 193 mm en 2020. Cela amène à dire que la 1<sup>ère</sup> période est vraiment déficitaire sur l'ensemble du bassin de Niger et a eu d'impacts sur l'écoulement dans les Commune de Karimama et de Malanville.

### 3.2.2. Évolution de la lame d'eau écoulée dans les Commune de Karimama et de Malanville

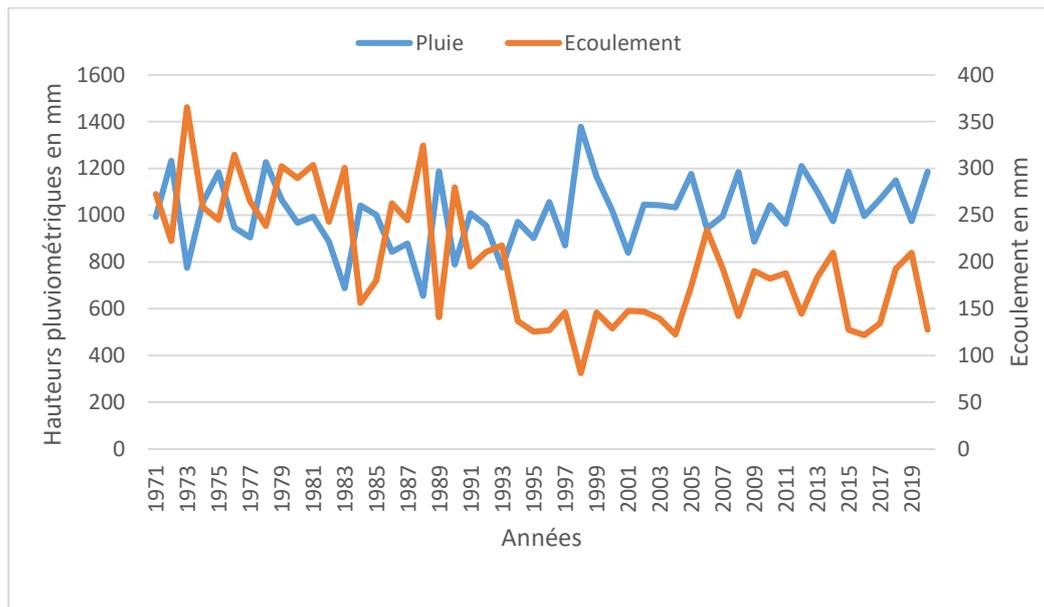
L'analyse de l'évolution mensuelle de l'écoulement enregistré à la station de Malanville a permis de caractériser le régime hydrologique de Malanville. La figure 8 présente l'évolution mensuelle comparée de l'écoulement dans les Communes de 1971 à 2020.



**Figure 8** : Variation saisonnière des débits dans les Commune de Karimama et de Malanville sur les sous-périodes 1971-1991 et 1992-2020

L'analyse de la figure 8 montre que pendant la période de récession pluviométrique (1971-1991) l'écoulement connaît une baisse. De ce fait, les mois de juin à novembre de la période de 1992-2020 présentent un écoulement supérieur comparativement à ceux de la première période (1971-1991). Ces mois sont donc plus humides avec un écoulement élevé en septembre (248 m<sup>3</sup>/s). Par contre, les mois de décembre à mai caractérisent un très faible écoulement voire l'absence totale d'écoulement au niveau des deux sous-périodes.

En somme, la figure montre que les mois de novembre à juillet sont les mois de faible écoulement. A partir de la fin du mois d'août à novembre, le niveau des cours d'eau augmente. Les crues ont lieu aux mois d'août, septembre et octobre et l'étiage dure toute la saison sèche de novembre à juin. Le temps de montée des eaux est d'environ trois mois (juin à septembre). A partir du mois de septembre le niveau des rivières baisse à nouveau. Cette variabilité saisonnière de l'écoulement est confirmée par les populations locales et estiment qu'elle a un impact considérable sur les infrastructures routières. L'évolution de l'écoulement et des hauteurs de pluies moyens est présentée par la figure 9.



**Figure 9** : Evolution des hauteurs de pluies et des débits (1971 à 2020) dans les Commune de Karimama et de Malanville

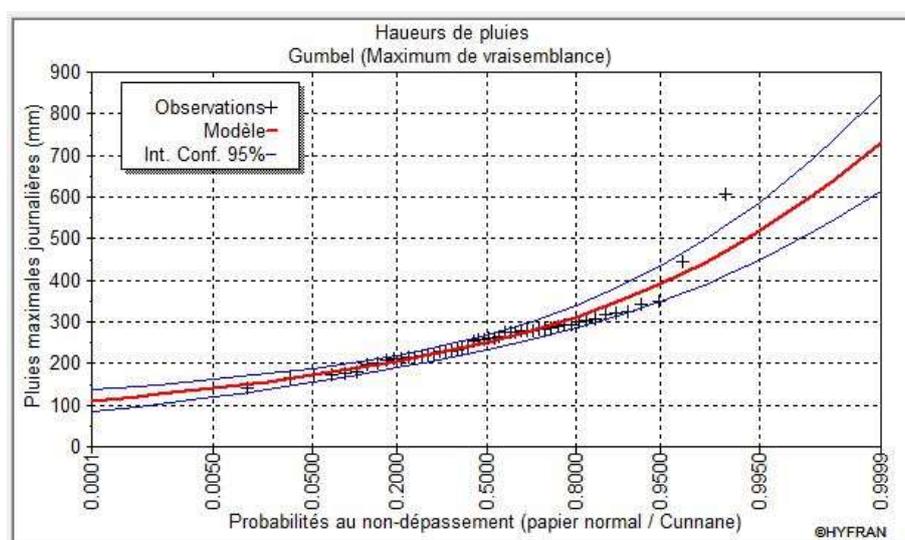
Une analyse de la figure 9 permet de constater que les deux variables évoluent presque dans le sens contraire. La période 1971-1997 apparaît comme la période où les débits sont plus importants que la pluie. Cette période coïncide avec celle de la récession pluviométrique observé au Bénin et ailleurs. Par contre la période de 1998-2018 permet de constater que les deux variables évoluent presque dans le même sens. Cette situation a certainement eu des effets positifs sur l'écoulement dans le secteur d'étude.

### 3.3. Caractérisation de l'aléa hydro-pluviométrique

#### 3.3.1. Analyse fréquentielle des hauteurs de pluie maximales

Pour l'aléa pluviométrique, les précipitations maximales représentent le premier facteur déclenchant les mécanismes de crue et d'inondation.

Après l'application des lois d'ajustement sur les hauteurs de pluies maximales, seule la loi de Gumbel s'adapte le mieux aux pluies maximales journalières. Plusieurs méthodes existent pour ajuster les distributions statistiques aux échantillons. La méthode maximum de vraisemblance a été utilisée dans la présente étude pour ajuster les séries aux lois retenues. La figure 10, illustre un ajustement des séries pluviométriques par la loi de Gumbel sur la période 1971-2020.



**Figure 10 :** Ajustement de la loi de Gumbel au niveau de la station de Kandi

De l'analyse des figures 10, il ressort que la série pluviométrique s'ajuste bien aux lois de Gumbel avec une marge d'erreur de 5 %.

En somme, on retient que les durées de retour des crues et des inondations obtenues grâce à l'application du modèle fréquentiel de Gumbel au cours de la période de 1971-2020 sont de 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200 ans. Le tableau II présente les hauteurs maximales de pluie estimée à partir de la droite d'équation de Gumbel.

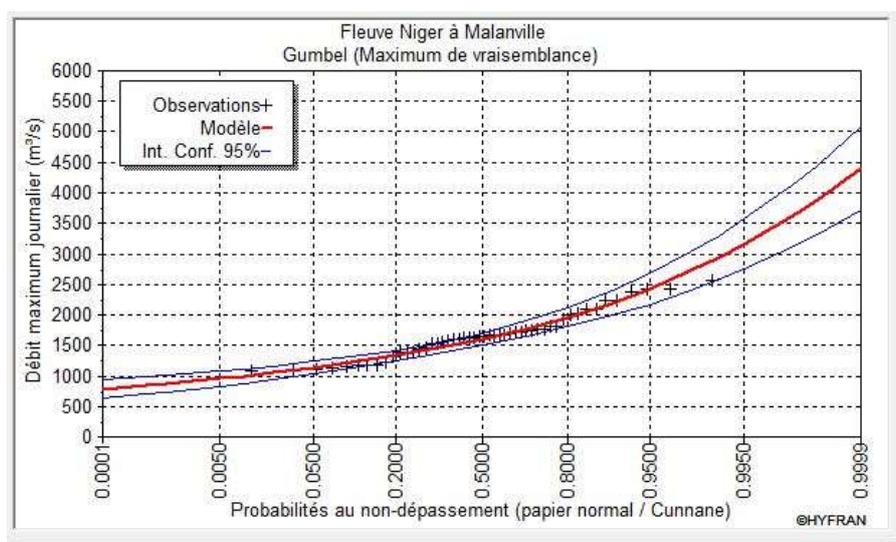
**Tableau II :** Hauteurs maximales de pluie et débits de pointe correspondant à chaque durée de retour

Récurrences	2	3	5	10	20	50	100	200
Hauteur de pluie maximale	251	280	312	353	392	443	480	518

De l'analyse du tableau II, il ressort que les durées de retour au niveau des hauteurs maximales de pluie varient de 2 à 200 ans selon la quantité des hauteurs de pluie maximales journalières. Il ressort que les inondations pluviales les plus fréquentes et pouvant survenir chaque 2 ans et 3 ans ont une hauteur de pluie maximale journalière respectif de 251 mm et 280 mm au niveau des Communes de Karimama et de Malanville. Ainsi donc, dans le secteur d'étude les événements pluvieux extrêmes sont à l'origine des crues et inondations observées. Selon les populations rencontrées, l'avènement des événements pluvieux extrêmes sur une courte période est beaucoup plus dévastateur dans le secteur d'étude.

### 3.3.2. Analyse fréquentielle des débits maximaux

La fréquence d'occurrence des débits maximaux journaliers dans le secteur d'étude est représentée par la figure 11.



**Figure 11 :** Ajustement de la loi de Gumbel au débit maximal à Malanville

L'analyse de la figure 11 montre que pour la probabilité au non-dépassement, les débits maximaux journaliers suivent non seulement le modèle, mais aussi ils sont bien ajustés avec la loi de Gumbel et le maximum de vraisemblance dans l'intervalle de confiance de 95 %.

Les récurrences des débits extrêmes sont également de 2, 5, 10, 20, 50 et 100 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 des activités des populations. Ainsi, à 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 (tableau III).

**Tableau III :** Estimation des débits caractéristiques et les intervalles de confiance par la loi de Gumbel à Malanville

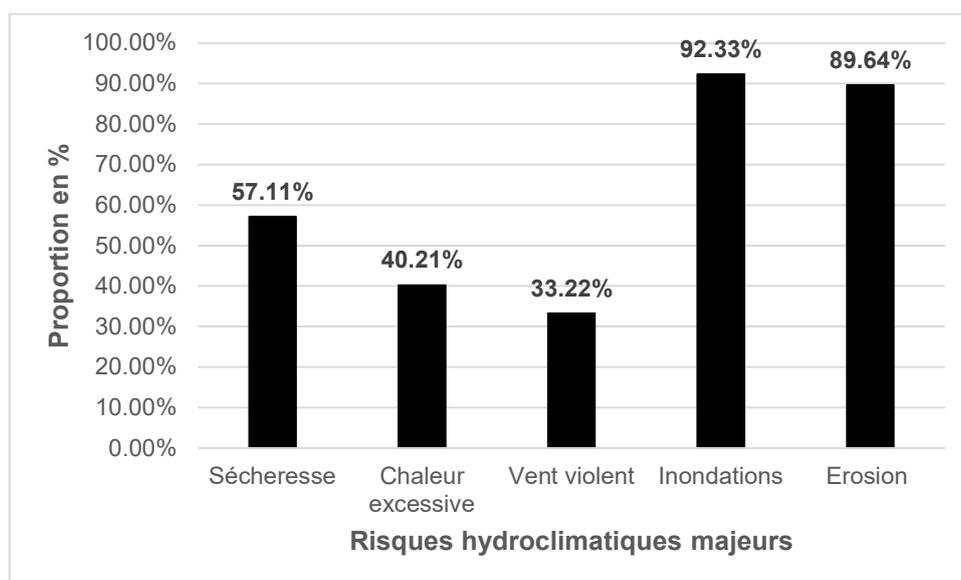
Récurrences	2	3	5	10	20	50	100	200
Débits maximaux	1600	1770	1960	2200	2430	2720	2940	3160

De l'analyse du tableau III, il ressort que les débits journaliers maximums annuels qui permettent d'estimer les débits de crue ayant une probabilité de subvenir dans les Communes de Karimama et de Malanville. Les débits maximaux compris entre 1600 et 1770 m<sup>3</sup>/s ont la possibilité de subvenir respectivement chaque deux ans et trois ans. De même, les débits journaliers maximums de 1960 m<sup>3</sup>/s peuvent subvenir chaque cinq ans et les crues décennales sont d'environ 2200 m<sup>3</sup>/s. Enfin les inondations fluviales rares sont causées par les débits dont les périodes de retour sont situées entre 50 et 100 ans avec des valeurs allant de 2720 à 2940 m<sup>3</sup>/s. De l'analyse de ces estimations, les inondations récurrentes dans les Communes de Karimama et de Malanville sont causées par les crues dont les débits sont situés entre 1600 et 1770 m<sup>3</sup>/s.

En somme, l'analyse pluvio-hydrologique a permis de caractériser les modifications induites par la variabilité climatique sur le comportement hydrologique du secteur d'étude. Elle a par ailleurs permis de caractériser les aléas et les éventuelles périodes de retour des événements hydro-pluviométrique extrêmes susceptibles d'induire des inondations.

### 3.4. Identification des risques hydroclimatiques majeurs dans les Communes de Karimama et de Malanville

Les résultats issus des entretiens avec les acteurs du secteur de transport dans les Communes de Karimama et de Malanville indiquent que les risques hydroclimatiques majeurs sont par ordre d'importance (figure 12).



**Figure 12 :** Risques climatiques majeurs dans les Communes de Karimama et de Malanville

**Source :** Travaux de terrain, septembre 2022

L'analyse de la figure 12 montre que dans les Communes de Karimama et de Malanville, les risques hydroclimatiques majeurs auxquels font face les populations sont les inondations (92,33 %), l'érosion (89,64 %), la sécheresse (57,11 %), la chaleur excessive (40,21 %) et les vents violents (33,22 %). Ces risques sont diversement perçus par les populations du secteur d'étude (tableau IV).

**Tableau I :** Caractérisation des risques climatiques dans le secteur d'étude

Risques climatiques majeurs	Fréquence	Étendue (Zones touchées)	Intensité	Durée ou période d'occurrence
Inondations	Fréquente	Zone longeant les cours d'eau	Très Forte	Mi-aout à mi-septembre
Erosion	Fréquente	Toute la Commune	Forte	Mi-aout à mi-septembre
Sécheresse	Très fréquente	Toute la Commune	Très Forte	novembre - juin
Vents violents	Fréquente	Toute la Commune	Forte	Avril-Mai et novembre
Chaleur excessive	Très fréquente	Toute la Commune	Forte	Février à mai

**Source des données :** Enquêtes de terrain, septembre 2022

Les inondations perçues par 92,33 % des populations, se caractérisent par des pluies régulières et abondantes sur plusieurs jours à travers tout le secteur d'étude. Selon ces populations, ces inondations se manifestent par le débordement des eaux de cours d'eau (Sota, fleuve Niger). Les populations assistent à l'impraticabilité des infrastructures suite à l'envahissement des routes par les eaux. Ce phénomène entraîne très souvent la destruction des infrastructures routières.

Quant à l'érosion perçue par 89,64 %, se manifeste par la dégradation des routes et pistes. Ainsi, il est souvent observé après le retrait des eaux des trous voir le rétrécissement de la chaussée empêchant de ce fait la circulation normale des usagers de la route.

Pendant la sécheresse (57,11 %) les routes sont comblées de sable qui rend difficile la fluidité de déplacement.

Les vents violents accompagnés parfois d'orages sont observés en début de saison pluvieuse (avril-mai) et également vers le mois de novembre. Ces vents sont à l'origine de la destruction de la végétation, du décoiffement et de l'effondrement des habitations mais aussi de la dégradation des pistes de dessertes rurales. Ce risque demeure important au regard de sa fréquence qui est quasi-annuelle.

La chaleur devient davantage éprouvante en raison de la hausse sensible des températures observées par les populations locales qui se sont exprimées en ces termes : « *Aujourd'hui il fait très chaud. La chaleur est très accablante, les nuits sont de plus en plus chaudes. Nous les passons à la belle étoile. Nous ne parlons même pas des jours où nous sommes obligés de nous réfugier sous les arbres afin de protéger les pneus de nos voitures. Là encore, l'air qui nous parvient est toujours chargé de chaleur. Cette chaleur à des conséquences néfastes sur notre santé et nos activités agricoles* ».

### 3.5. Discussion

Il est constaté que le secteur présente une tendance pluviométrique annuelle légèrement à la hausse. Les variations pluviométriques révèlent donc des irrégularités sur l'ensemble du secteur d'étude. En effet, l'application du test de Buishand et de Pettitt à la série des données (1971-2020) a permis d'identifier à un seuil de significativité de 95 %, une rupture chronologique en 1991 dans les communes de Karimama et de Malanville. Il apparaît deux sous périodes notamment de récession pluviométrique de 1971 à 1991 avec une moyenne de 754,8 mm et un écart-type de 116,37 mm et la période de reprise des hauteurs pluviométriques de 1992 à 2020 pour une moyenne de 828,27 mm et un écart de 162,41 mm.

Dans le même secteur et sur une série relativement plus longue (1960-2020), Z. Aboubakar (2023, p. 29), montre que la Commune de Malanville a enregistré 9 années excédentaires soit 19 % du nombre total des années de cette série climatologique contre 20 années déficitaires, qui représentent 47 %. Pour l'auteure, les années ayant une hauteur pluviométrique moyennes sont au nombre de 14 soit une proportion de 34 %. Ces déficits n'ont jamais cessé, même s'ils ont varié en intensité et en étendue suivant les années. Avant elle, des résultats similaires ont été obtenus dans le secteur d'étude par E. W. Vissin (2007, p. 116 ; 155) et S. S. Tassigui et al., (2020, p. 46-49) qui ont montré que les sous-bassins versants de la Mékrou et de l'Alibori situés en zone soudano-sahélienne, ont subi la variabilité climatique et ont été affecté à un certain degré par une variation de leur régime d'écoulement au cours des dernières décennies. Dans cette zone, une baisse importante et une rupture nette des séries pluviométriques a été observée autour des années 1968-1972, avec l'année 1972 comme année charnière. Les auteurs soulignent également une recrudescence notable de la sécheresse qui s'est manifestée en 1983 et 1984 et les déficits persistent jusqu' à ces dernières années. Malgré que l'indice SPI ne quantifie que le déficit de précipitations, le choix de son utilisation dans le cadre de cette étude se justifie par le fait qu'il est reconnu, dès décembre 2006, comme indice de sécheresse météorologique universel, d'après la déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse (I. Beaudin, 2006, p. 28 ; Hayes *et al.*, 2011). De même, il a été adopté par l'Organisation Météorologique Mondiale en tant qu'indicateur clé de la sécheresse météorologique, en 2010 (JRC et IES, 2011). Cette méthode a été utilisée par C. Houndénou (1999, p. 49), pour caractériser la variabilité climatique en Afrique. Ses résultats corroborent ceux obtenus dans le cadre de cette recherche puisqu'il estime que dans ce contexte continental, la baisse des hauteurs pluviométriques en Afrique de l'Ouest est comprise entre 10 et 25 % en comparaison avec celle enregistrée au début du XXème siècle. Pour C. Houndénou *et al.*, (2006, p. 35), la région ouest-africaine a connu une récession pluviométrique aux ampleurs parfois très accusées, doublée d'une augmentation significative du nombre d'années sèches.

Faisant une analyse de l'influence de la variabilité hydroclimatique sur les ressources en eau, il ressort que la période 1971-1997 apparaît comme la période où les débits sont plus importants que la pluie. Cette période coïncide avec celle de la récession pluviométrique observé au Bénin et ailleurs. Par contre la période de 1998-2018 permet de constater que les deux variables évoluent presque dans le même sens. Cependant, les résultats obtenus par I. Allassane (2022, p. 49), indique que sur la période 1971-2018,

le coefficient d'écoulement moyen est de 55,28 % à Malanville. Cette valeur traduit l'effet de la variation des lames d'eau précipitées dans le milieu.

Les résultats de E. W. Vissin (2007, p. 116 ; 155) corroborent ceux obtenus dans cette recherche. Pour lui, depuis plus de vingt ans, le bassin béninois du fleuve Niger, connaît une baisse importante de ses ressources en eau dus aux déficits pluviométriques marqués par une première phase aiguë en 1972 et 1973. Ces déficits n'ont jamais cessé, même s'ils ont varié en intensité et en étendue suivant les années. L'auteur souligne également une recrudescence notable de la sécheresse qui s'est manifestée en 1983 et 1984 et les déficits persistent jusqu'à ces dernières années. Par ailleurs, dans une étude relative à l'influence des fluctuations pluviométriques sur les écoulements, Bricquet *et al.*, (1995) étaient parvenus à la même conclusion en mettant en évidence l'impact des déficits pluviométriques sur l'écoulement du bassin du fleuve Niger à Koulikoro au Mali. Les auteurs ont également montré qu'une baisse de la pluviométrie entraîne la diminution de l'écoulement souterrain et l'augmentation du coefficient de tarissement.

Aussi, l'analyse des résultats montrent que dans les Communes de Karimama et de Malanville, les risques hydroclimatiques majeurs auxquels font face les populations sont les inondations (92,33 %), l'érosion (89,64 %), la sécheresse (57,11 %), la chaleur excessive (40,21 %) et les vents violents (33,22 %). A. Aboubakar (2023, p. 162), obtiens des résultats similaires à ceux obtenus dans le cadre de cette thèse, et indique que Inondations, les sécheresses /poches de sécheresses, les vents violents, le démarrage tardif de la pluie, la chaleur excessive et la fin précoce des pluies sont les risques climatiques majeurs perçues par les populations à Malanville. Ces risques identifiés dans l'analyse des résultats de cette thèse, corroborent ceux trouvés par d'autres auteurs tels que R. O. Dimon, 2008, p.8 ; S. N. I. Djenontin (2010, p.103) ; PANA-Bénin (2008, p.32) qui ont montré que les populations locales du Nord-Bénin perçoivent la variabilité et les changements climatiques à travers les poches de sécheresse, les vents violents et la chaleur excessive. En somme, au regard des résultats de la discussion des travaux antérieurs effectués sur la thématique et, les résultats obtenus pour objectif spécifique 1, l'hypothèse selon laquelle les Communes de Karimama et Malanville sont confrontées à plusieurs risques hydroclimatiques a été confirmée.

#### IV. CONCLUSION

Au terme de cette recherche, il est à retenir que, les indicateurs des risques hydroclimatiques ont été examinés. Le secteur d'étude enregistre des variations hydroclimatiques qui se traduisent par une rupture dans les séries pluviométriques et hydrométriques. L'analyse fréquentielle des hauteurs maximales de pluies, elle révèle que les inondations pluviales les plus fréquentes et pouvant survenir chaque 2 ans et 3 ans ont une hauteur de pluie maximale journalière respectif de 251 mm et 280 mm au niveau des Communes de Karimama et de Malanville. De même, les débits maximaux compris entre 1600 et 1770 m<sup>3</sup>/s ont la possibilité de subvenir respectivement chaque deux ans et trois ans. De même, les débits journaliers maximums de 1960 m<sup>3</sup>/s peuvent subvenir chaque cinq ans et les crues décennales sont d'environ 2200 m<sup>3</sup>/s. L'analyse des perceptions des populations sur les variations hydroclimatiques a permis d'identifier les inondations, l'érosion, la sécheresse, la chaleur excessive et le vent violent comme risques hydroclimatiques majeurs dans le secteur d'étude.

#### REFERENCES

- [1]. ABOUBAKAR Zaratou, OLOUKOÏ Joseph, OUASSA Pierre et YABI Ibouaïma, 2023, vulnerability of onion production and producer adaptation strategies to climate change in the municipality of malanville in north-east benin», African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 19 » pp: 190 – 222.
- [2]. AKOGNONGBE Arsène, 2014, Influence de la variabilité climatique et les activités anthropiques sur les eaux de surface dans le bassin de l'Ouémé à Bétérou au Bénin. Thèse de doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, 255p.
- [3]. ALLASSANE Inoussa, 2022, Influence de la variabilité pluviométrique sur les ressources en eau dans la Commune de Manlanville. Mémoire de Licence, DGAT/FASHS/UAC, 67p.
- [4]. AMOUSSOU Ermet, 2010, Variabilité hydro-climatique et dynamique des états de surface dans le bassin versant du Couffo. Mémoire de DEA, EDP/FLASH-UAC.104 p.

- [5]. BARON Christian, TRAORE Seydou, PHILIPPON Nathalie, 2010, Overview of main challenges for early warning systems for food security in West Africa. *Geophysical Research Abstracts* 12(EGU2010-11845-1).
- [6]. CODJO Thierry, 2017, Aménagement hydro-agricole pour la réduction de la vulnérabilité et l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans la Basse Vallée de l'Ouémé. Thèse de doctorat unique, UAC, 312 p.
- [7]. DIMON Rodrigue, 2008, Adaptation aux Changements Climatiques : perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation développées par les producteurs des communes de Kandi et de Banikoara, au Nord du Bénin. Département D'économie, de Socio-Anthropologie et de Communication (DESAC). Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 209p.
- [8]. DJENONTIN Sèdjro Nadia Ida, 2010, Vulnérabilité des ressources en eau face aux Changements Climatiques et stratégies endogènes de gestion développées dans le secteur agricole : cas des communes de Banikoara et Malanville (Bénin). Thèse de doctorat unique, UAC/ FSA, 137 p.
- [9]. FAYE Adama, TOUNKARA Adama, NDIAGA Paul Ciss, NGOM Mor et CAMARA Ibrahima, 2022, Évaluation de la vulnérabilité du secteur agricole aux changements climatiques et identification d'options d'adaptation dans la zone des Niayes au Sénégal. Rapport produit dans le cadre du projet Sécurité alimentaire : une agriculture adaptée (SAGA). Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0688fr>
- [10]. GIEC, 2022, Impacts, options d'adaptation et domaines d'investissement pour une Afrique de
- [11]. l'Ouest résiliente au changement climatique. Rapport de synthèse. Sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 20p. DOI : [https://cdkn.org/sites/default/files/2022-04/IPCC%20Regional%20Factsheet%20\\_West%20Africa%E2%80%93FR\\_web.pdf](https://cdkn.org/sites/default/files/2022-04/IPCC%20Regional%20Factsheet%20_West%20Africa%E2%80%93FR_web.pdf)
- [12]. 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.
- [13]. HAMDANE Abdelkader, 2015, Changement climatique et sécurité alimentaire en méditerranée et en Afrique de l'Ouest : Stratégies pour une agriculture, des territoires et une croissance durable-Etude du cas Tunisien. Séminaire SESAME, 25p.
- [14]. HOUNDENOU Constant, 1999, Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de doctorat de géographie, UMR 5080, CNRS « climatologie de l'espace tropical », Université de Bourgogne, centre de recherche de climatologie, Dijon, 341 p.
- [15]. HOUNDENOU Constant, BOKO Michel et AGOSSOU Noukpo, 2006, Péjoration climatique en milieux maïsicultures au sud du Bénin en Afrique de l'ouest. In Publication de LECREDE, 2 numéros, pp 26-35.
- [16]. KOUDAMILORO Olivier, 2017, Vulnérabilité aux risques hydroclimatiques et stratégies d'adaptation des populations dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou (Benin). Thèse de Doctorat unique de géographie. Université Ouaga 1 PR Joseph Ki-Zerbo, 274p.
- [17]. KOUMASSI Dègla Hervé, 2014, Risques hydro-climatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la sota à l'exutoire de Coubéri. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 245 p.
- [18]. LANOKOU Chéto Mathieu, 2016, Extrêmes climatiques et mise en valeur agricole des terres noires dans la Dépression Médiane au Sud-Bénin. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 313 p.
- [19]. PANA-Bénin, 2008, Programme d'Action Nationale d'Adaptions aux changements climatiques. Cotonou, 81p.
- [20]. PARROD Camille, GEORGE Emmanuelle, CHAIX Christophe et VINCENTI Sabine, 2020, Vulnérabilité et adaptation aux effets du changement climatique dans le Haut-Chablais : enseignements d'une démarche d'accompagnement. *Sciences Eaux & Territoires* 2020/5 (Numéro hors-série) série), pp. 1-7 (en ligne) <https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2020-5-page-1g.htm>

- 
- [21]. PETTITT A. N., 1979, A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28, n°2, pp. 126-135.
- [22]. PNUE, 2011, Sécurité des moyens d'existence Changements climatiques, migrations et conflits au Sahel. ISBN : 978-92-807-3230-6, 112p.
- [23]. TASSIGUI SIO Sabi, ABDOULAYE Djafarou, BASSE Guy Aymard Orou Yorou, GUEDENON Janvier, AKOGNONGBE Arsène, ATCHADE Gervais, 2020, Perceptions de la Variabilité Hydro-Climatique et Stratégies d'Adaptation Développées par les Agriculteurs et Eleveurs Bovins des sous Bassins Versants de la Mékrou et de l'Alibori, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, Vol. 22 No. 2 September 2020, pp. 44-59
- [24]. VISSIN Expédit Wilfrid, 2007, Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin versant béninois du fleuve Niger. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne. Dijon, France, 285 p.