



DETERMINANTS HYDROCLIMATIQUES ET DISPONIBILITES DES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES DANS LE SOUS BASSIN VERSANT DE L'OKPARA A L'EXUTOIRE DE NANO AU BENIN

HYDROCLIMATIC DETERMINANTS AND AVAILABILITY OF SURFACE WATER RESOURCES IN THE OKPARA SUB-WATERSHED AT THE OUTLET OF NANO IN BENIN

| Sylvestre Ogouwale ^{*1} | Séraphin Capo Atidegla ² | and | Luc O. C. Sintondji ³ |

¹. Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME) |

². Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME) |

³. Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME) |

| Received June 30, 2021 |

| Accepted July 06, 2021 |

| Published July 09, 2021 |

| ID Article | Sylvestre-Ref3-ajira300621 |

RESUME

Introduction : Les conditions climatiques actuelle exercent des pressions sur les ressources en eau en général, et plus précisément sur celles superficielles et constitue une menace potentielle pour le développement socioéconomique des populations. **Objectif :** La présente étude analyse la disponibilité des ressources en eau superficielles en rapport avec les déterminants hydroclimatiques actuelles dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano. **Méthodes :** L'approche méthodologique utilisée a consisté en la collecte et au traitement des données pluviométrique et hydrologique sur la période allant de 1961 à 2018. Ces différentes données ont été traitées à partir des méthodes des statistiques descriptives (indices centrés réduits, test de Pettit). **Résultats :** Les résultats révèlent que l'ensemble du bassin a été confronté à la récession pluviométrique des années 1970 avec un retour des pluies au début des années 1990. Ce qui explique la rupture de stationnarité positive observée dans les séries pluviométriques en 1987. Ces variations se traduisent par une baisse des hauteurs de pluies à partir des années 1970 suivi de la diminution des écoulements allant de 30 à 50 %. **Conclusion :** Les populations doivent adopter des stratégies, pour s'adapter à la vulnérabilité des eaux superficielles face à la variabilité hydroclimatique.

Mots clés: sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano, ressources en eaux superficielles, variabilité hydroclimatique, bilan hydrologique, vulnérabilité

ABSTRACT

Background: Current climatic conditions exert pressure on water resources in general, and more specifically on surface water resources, and pose a potential threat to the socio-economic development of populations. **Objective:** This study analyses the availability of surface water resources in relation to current hydroclimatic determinants in the Okpara sub-watershed at Nano. **Methods:** The methodological approach used consisted in the collection and processing of rainfall and hydrological data over the period from 1961 to 2018. These different data were processed using descriptive statistical methods (reduced centered indices, Pettit test). **Results:** The results reveal that the entire basin faced the rainfall recession of the 1970s with a return of rains in the early 1990s. This explains the positive stationarity break observed in the rainfall series in 1987. These variations are reflected in a decrease in rainfall heights from the 1970s followed by a decrease in flows ranging from 30 to 50 %. **Conclusion:** Populations must adopt strategies to adapt to the vulnerability of surface waters to hydroclimatic variability.

Key words: Okpara sub - watershed with Nano area, surface water resources, hydroclimatic variability, water balance, vulnerability

1. INTRODUCTION

L'impact des variations climatiques sur les systèmes naturels et humains s'observent sur tous les continents et dans les océans. La plupart des impacts du changement climatique se reflètent dans des modifications du cycle hydrologique. Les phénomènes de précipitations extrêmes vont très probablement devenir plus intenses et plus fréquents, dès la fin de ce siècle, sur la plupart des terres émergées, situées à des latitudes moyennes et dans les régions tropicales humides. En parallèle, les sécheresses et les périodes d'étiage vont augmenter en nombre et devenir plus sévères [1]. Cette variation climatique se traduit sur le continent africain par une sécheresse qui sévit depuis une trentaine d'années dans les pays sahéliens et qui connaît une extension vers les pays humides en bordure du Golfe de Guinée. Cette sécheresse a pour conséquence de graves baisses des précipitations, des niveaux piézométriques et la chute des débits des cours d'eau [2]. Ainsi, les questions de la variabilité climatique ou des changements climatiques et de leurs implications sur les écosystèmes naturels et sur les ressources en eau sont de plus en plus placées au centre des grands débats scientifiques, politiques et de développement durable tant dans le monde qu'au Bénin [3].

Le Bénin n'est pas en marge de ce phénomène qui s'amplifie avec l'accroissement de la demande en eau lié à la croissance démographique et à la multiplication des usages (consommation domestique, industrie, agriculture, loisirs, etc.), les gestionnaires des ressources en eau doivent faire face aux problèmes de pollution, de mauvaise gestion et de pénurie. Dans ce contexte, on comprend alors aisément la nécessité de mettre au point des outils d'aide à la gestion et à la décision qui permettent de mieux cerner le fonctionnement des hydrosystèmes naturels et le devenir de l'eau dans l'environnement. L'utilisateur de ces instruments peut bénéficier d'une meilleure connaissance de la répartition spatio-temporelle des flux d'eau, des matières et composés qu'elle véhicule, par exemple à l'échelle d'un bassin versant. Le cours d'eau constitue, dans cette démarche d'appréhension des hydrosystèmes, un objet d'intérêt

privilegié en raison de l'accès aisé qu'il offre à la ressource. La connaissance de son débit est un instrument indispensable à la gestion des systèmes aquatiques (prévision de débits, gestion d'ouvrages de retenue, dimensionnement d'ouvrages hydrauliques, etc.) [4].

Cette étude permet de comprendre les actuelles variations de pluies et leurs effets sur la disponibilité de nos ressources en eaux afin de réduire la vulnérabilité des cours d'eau et des populations aux fluctuations pluviométriques dans le sous bassin versant de l'Okpara à Nano, qui est situé entre 9°16' et 9°58' de latitude nord d'une part, et 2°35' et 3°04' de longitude est d'autre part (figure 1).

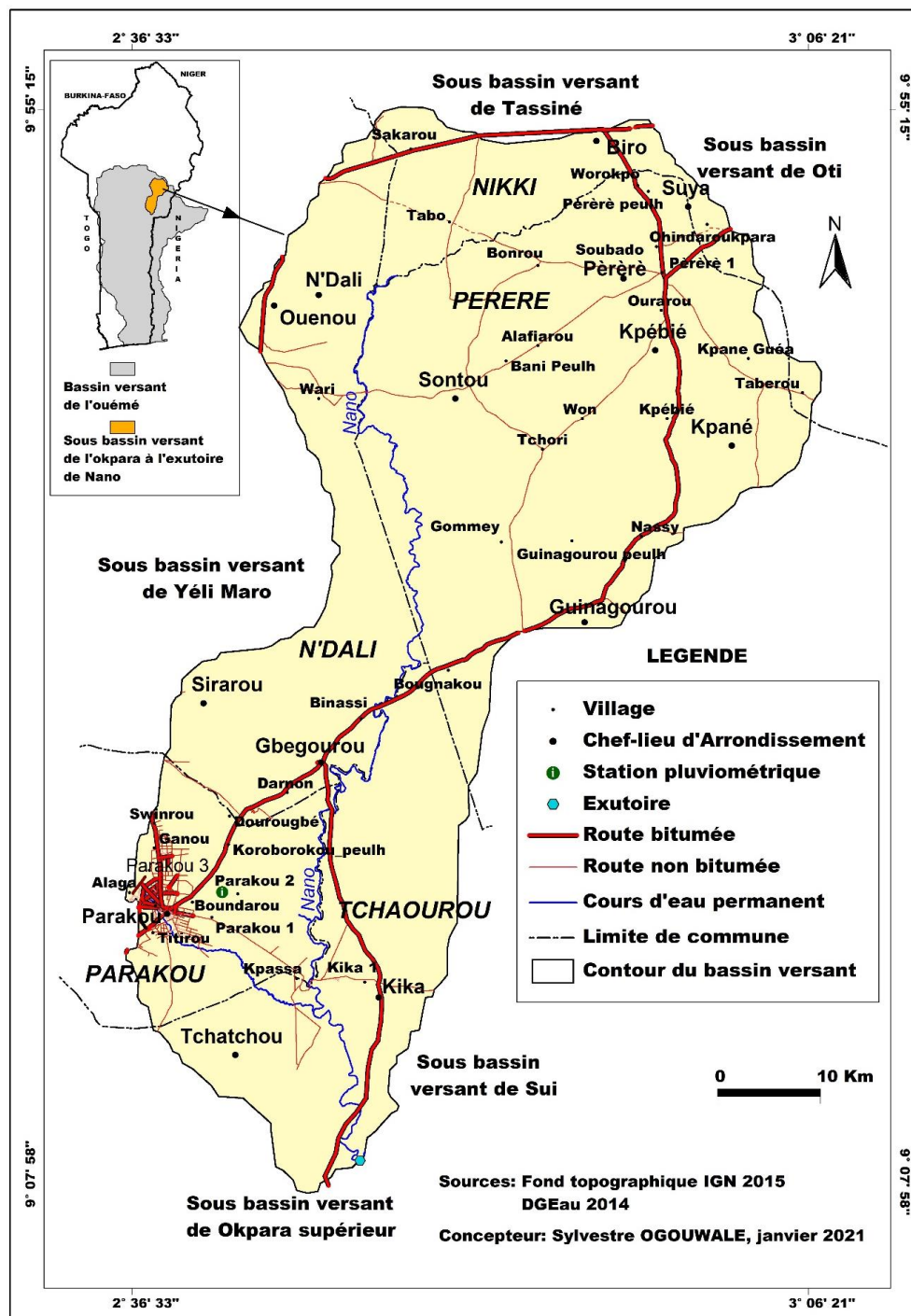


Figure 1 : Situation du sous bassin versant de l'Okpara à Nano.

2. MATERIELS AND METHODES

Les données utilisées pour atteindre cet objectif sont de plusieurs ordres :

Données climatologiques : il s'agit des hauteurs de pluies (journalières, mensuelles) répartie dans le bassin de l'Okpara à Nano, des températures maximales et minimales et de l'ETP sur la période 1961-2018, qui ont été extraites des fichiers des stations et postes climatologique de la Direction Nationale de la Météorologie (DNM). Ces données ont

porté sur les stations météorologiques situées dans le bassin ou dans ses limites immédiates dont le taux de lacune n'excède pas 5 %. Le tableau 1 présente la liste des stations qui sont prises en compte.

Tableau I: Situation des stations météorologiques du sous bassin de l'Okpara à Nano.

N°	Nom des stations	Type station	de Latitude	Longitude	Altitude	Année de création	de
1	INA	Climatologique	9°58N	2°44E	358m	1944	
2	NIKKI	Pluviométrique	9°56N	3°12E	402m	1921	
3	OKPARA	Pluviométrique	9°47N	2°73N	295m	1956	
4	PARAKOU	synoptique	9°21N	2°36E	392m	1921	

(Source : Météo-Bénin)

Les erreurs identifiées lors des traitements statistiques ne concernaient généralement que des périodes relativement courtes, et souvent une seule journée. Dès lors, ces lacunes ont été comblées par la moyenne des valeurs encadrantes pour un nombre de manques inférieur à cinq et non consécutif. Cette méthode, déjà utilisée par Houndenou (1999) [5] a été complétée, dans le cas contraire, par la méthode du plus proche voisin développée par Ogouwale (2006) [6]. Cette dernière consiste à remplacer les données manquantes par celles de la station voisine présentant le plus fort coefficient de détermination (r^2), sur l'année considérée (régression linéaire simple).

Données hydrométriques : des statistiques hydrologiques de l'Okpara sur la période 1961-2018 sont tirées des données hydrométriques du Service de l'Hydrologie de la Direction Générale de l'Eau à Cotonou ;

Données socioéconomiques : les investigations socio-anthropologiques ont permis d'appréhender les perceptions des populations sur les variations hydroclimatiques et leurs influences sur la disponibilité des ressources en eau dans le sous bassin de l'Okpara à Nano ;

Méthodes utilisées

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

Si $a > 0$, on a une tendance à la hausse;

Si $a < 0$, on a une tendance à la baisse

➤ Indice pluviométrique

L'indice pluviométrique permet d'identifier les séquences déficitaires, les séquences excédentaires et les séquences normales sur la période une période [7] ont défini un indice qui se calcule pour chaque année et s'exprime comme suit :

$$I_p = \frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma} \quad (1)$$

Avec X_i est la pluviométrie de l'année i ,

$\bar{X}$ la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence et

σ : L'Écart type de la série.

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

Si $I_p = 0$: l'année est dite moyenne ou normale.

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

Après l'étude des indices pluviométriques, il est nécessaire d'étudier le bilan hydrologique afin de mettre en évidence la disponibilité en eau dans le sous bassin versant de l'Okpara à Nano durant les extrêmes climatiques.

➤ Bilan hydrologique

Pour analyser les modes de précipitations dans le sous bassin versant de l'Okpara à Nano, le bilan hydrologique a été utilisé. Selon le Barbé et al (1993), il est déterminé au cours d'une période par la formule suivante:

$$P = E + L + I + (S_1 - S_0) \quad (2)$$

Avec : P = pluie (en mm) ; E = évaporation (en mm) ; L = écoulement, (en mm) ; I = recharge (infiltration) (en mm), $S_1 - S_0$ = variation du stock d'eau souterrain présent dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou (en mm). Des cinq termes de cette équation, deux (I et $S_1 - S_0$) ne sont pas quantifiables par des mesures directes. Pour diminuer le nombre d'inconnues, la période a été choisie de sorte que la variation ($S_1 - S_0$) puisse être supposée négligeable et

I varie selon la nature du sol et la quantité de pluie tombée [8].

➤ Détermination de l'écoulement et variation du déficit et du coefficient d'écoulement

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

Écoulement : Le terme d'écoulement se rapporte toujours à la circulation gravitaire de l'eau ; il prend plusieurs aspects selon la profondeur à laquelle il se situe dans le sol. En hydrologie de surface, le terme d'écoulement concerne exclusivement la circulation de l'eau dans le réseau hydrographique. Il s'agit d'un phénomène qui peut se quantifier par des mesures directes de débits. Sa formule est :

$$L = \frac{Q}{S} \times t \times 10^3 \quad (3)$$

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

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

$$DE = P - \int Q dt \quad (4)$$

Il se traduit aussi comme la quantité d'eau de pluie ayant échappé à l'écoulement de surface. Cette valeur, caractéristique du milieu d'étude, varie assez peu dans le temps. Elle est théoriquement égale à l'évaporation à la surface du bassin-versant. Sa détermination dans le cadre de cette étude a permis d'apprécier les risques hydroclimatiques par rapport à la lame d'eau écoulée eau dans le sous bassin versant de l'Okpara à Nano.

Coefficient d'écoulement : Il a été déterminé à partir de la formule ci-après

$$C = \frac{L}{P} \times 100 \quad (5)$$

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

Il traduit le ruissellement du bassin. Ce coefficient est étroitement lié à des variations climatiques et traduit également la relation entre les pluies et les écoulements [9]. Il permet aussi d'analyser le rôle joué par le substratum géologique du bassin considéré.

La comparaison des sous périodes pluviohydrologiques a permis d'évaluer les risques hydroclimatiques dans le sous bassin versant de l'Okpara à Nano.

➤ Recherche de liaison ou de dépendance statistique entre pluie et lame d'eau écoulée

Le coefficient de corrélation linéaire a été utilisé pour mesurer le degré de liaison ou de dépendance qui existe entre les lames précipitées et les lames écoulées dans le sous bassin versant de l'Okpara à Nano. Il est défini par :

N est le nombre total d'individus ;

x_i et y_i sont les valeurs des séries ; et $\bar{y}$ sont les moyennes des variables ; $\sigma(x)$ et $\sigma(y)$ représentent leurs écarts-types respectifs.

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

L'ensemble de ces travaux réalisés a permis d'obtenir les résultats suivants.

3. RESULTATS

3.1. Analyse de la variabilité pluviométrique dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano

Le dynamisme des paramètres climatiques inflige une variabilité aux hauteurs de pluie enregistrées. Les figures 2 et 3 montrent la variation interannuelle des hauteurs de pluie sur la période 1961-2018 dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano.

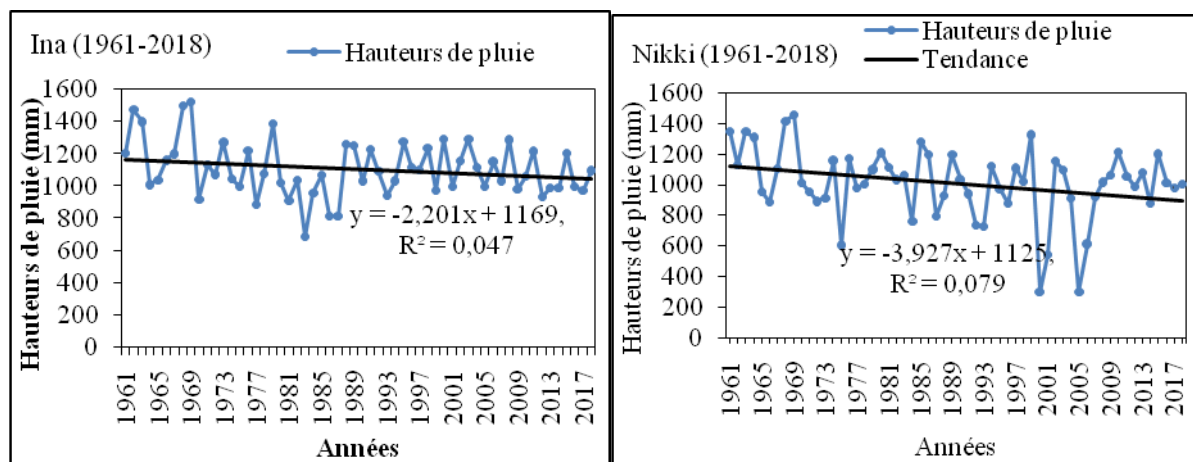


Figure 2 : Evolution des hauteurs de pluie annuelle à Ina et à Nikki.

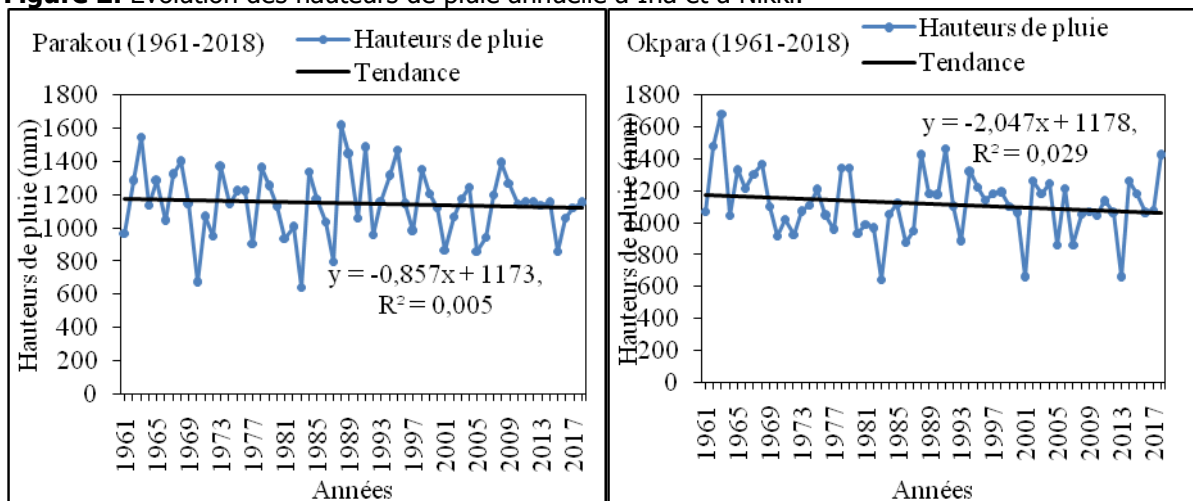


Figure 3 : Evolution des hauteurs de pluie annuelle à Parakou et à Okpara. (**Source :** Traitement de données Météo-Bénin, 2019).

L'analyse des figures 2 et 3 montre que les différentes stations du sous bassin présentent une variabilité pluviométrique caractérisée par une évolution contrastée. En effet, toutes les stations (Parakou, Ina, Nikki, Okpara) de ce sous bassin ont une tendance pluviométrique à la baisse. Il y a donc une très forte variabilité de la pluviométrie dans le bassin. Les coefficients de régression de la tendance sont présentés dans le tableau 2 suivant.

Tableau 2 : Coefficient de régression des tendances pluviométriques.

Stations	Coefficient de régression
Parakou	-0,8579
Ina	-2,201
Nikki	-3,9276
Okpara	-2,047

(**Source :** Traitement de données Météo-Bénin, 2019)

Le tableau 2 indique une différence de l'évolution au niveau des différentes stations du sous bassin. Ainsi, la station de Nikki présente la baisse pluviométrique la plus importante entre 1961 et 2018, car ayant un coefficient de régression de -3,9276. Cette situation induit la rareté des ressources en eau dans le secteur d'étude. En effet, l'analyse des hauteurs pluviométriques des différentes stations du sous bassin, montre qu'il y a une rupture dans les séries pluviométriques au cours de l'année 1987.

3.2. Analyse de la rupture de stationnarité dans les chroniques de pluie dans le sous bassin versant de l'Okpara à Nano

La figure 4 présente la rupture de stationnarité dans l'évolution de la pluviométrie annuelle moyenne dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano.

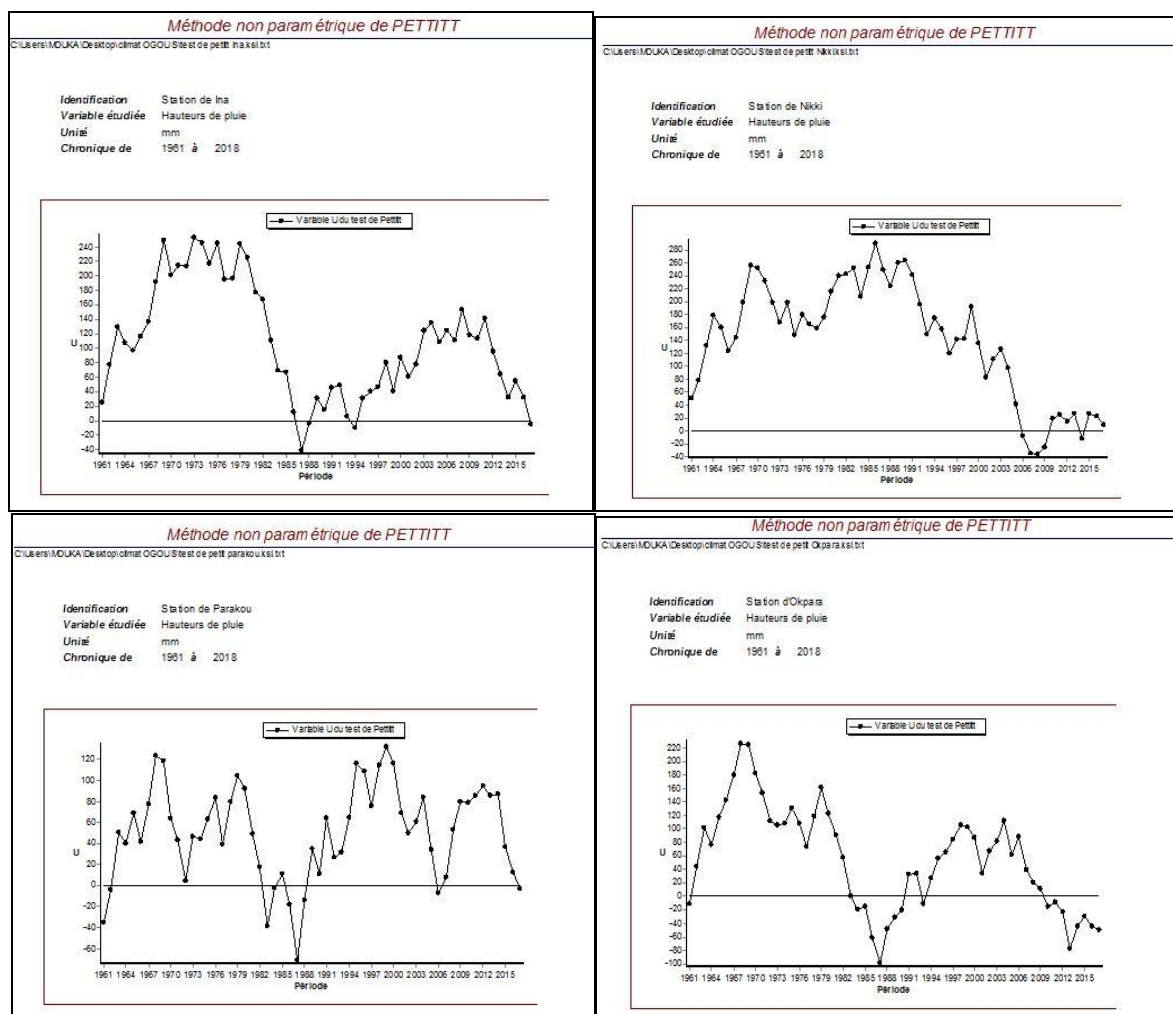


Figure 4 : Rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques du secteur de recherche. (Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2019).

L'analyse de la figure 4 montre l'application du test de Pettitt et de Buishand à la série des données (1961-2018) qui a permis d'identifier à un seuil de significativité de 95 %, une rupture chronologique en 1987 dans le secteur de recherche.

La série 1961-2018 utilisée peut-être subdivisée en 2 sous périodes : 1961-1987 et 1988-2018. Les résultats soulignent l'existence d'une rupture dans les séries pluviométriques. Ceci confirme les résultats des travaux de recherche conduits dans le bassin de l'Okpara par Ogouwale (2013) [10] et dans les différentes régions du Bénin sur la problématique climat et agriculture Ogouwalé qui attestent que des ruptures sont intervenues dans les séries pluviométriques au cours des années 1987 et indiquent une tendance à la baisse des précipitations [6,11].

➤ Analyse comparée de l'évolution pluviométrique annuelle par sous-période (1961-1987 et 1988-2018)

L'étude comparée des deux (2) sous-périodes identifiés à partir du test de Pettitt permet de mettre en évidence la baisse marquée des hauteurs de pluie saisonnières au niveau de la première la sous-période 1965-1987. La seconde sous période quant à elle, a été relativement plus humide que la précédente.

En effet, sur les deux sous-périodes (1961-1987 et 1988-2018), les coefficients de régression sont négatifs dans toutes les stations sauf la station de Nikki sur la sous-période (1988-2018) soit 2,4715. De plus, les coefficients de détermination étant faibles (Ina, $R^2 = 0,3612$ et $0,0978$) ; (Nikki, $R^2 = 0,094$ et $0,0086$) ; (Parakou, $R^2 = 0,1001$ et $0,1444$) ; (Okpara, $R^2 = 0,307$ et $0,0536$) alors la tendance pluviométrique est à la baisse dans le secteur de recherche. Cette variabilité pluviométrique est dominée par des années sèches et humides. En effet, l'indice standardisé de précipitation a permis de mieux cerner cette dynamique pluviométrique dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano (figure 5).

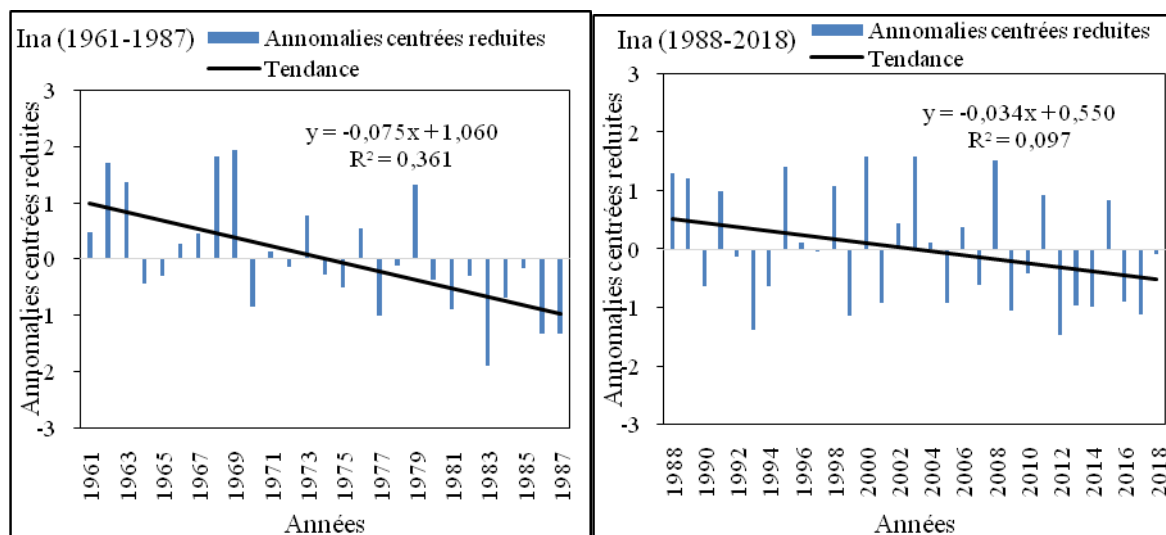


Figure 5 : Indice pluviométrique interannuel à Ina de 1961 à 1987 de 1988 à 2018.

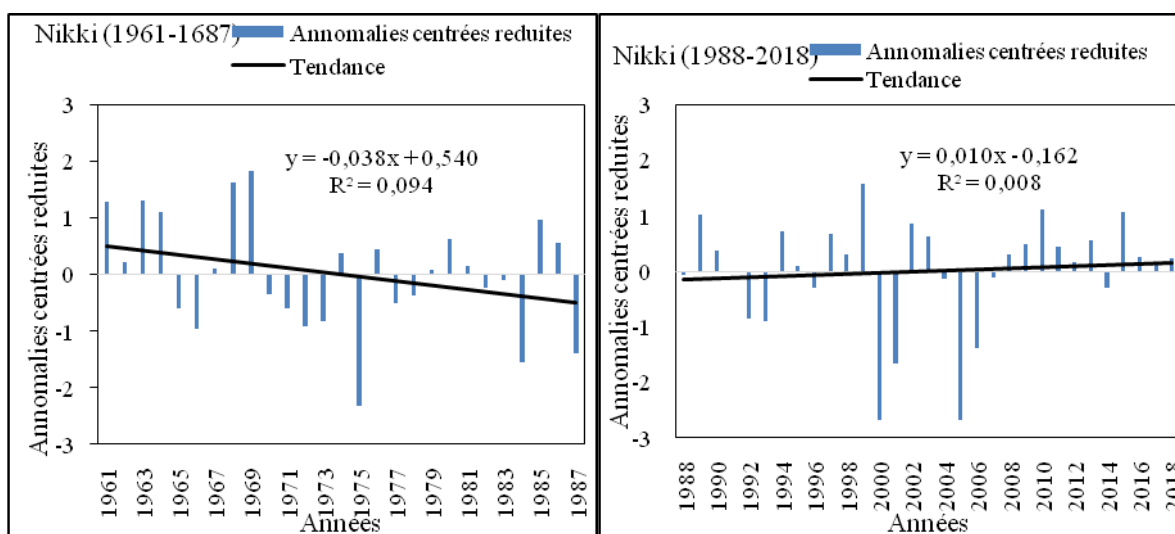


Figure 6 : Indice pluviométrique interannuel à Nikki de 1961 à 1987 de 1988 à 2018.

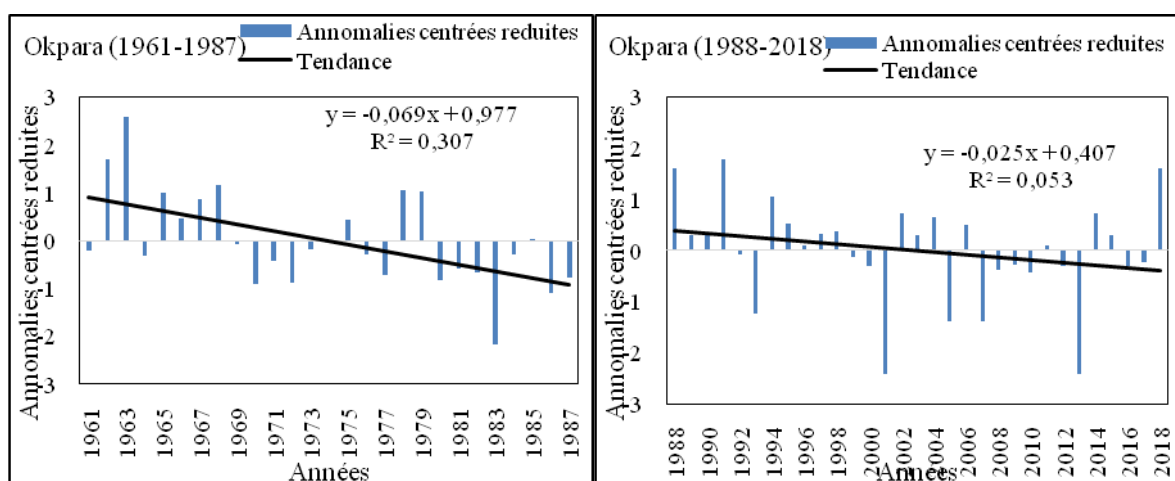


Figure 7 : Indice pluviométrique interannuel d'Okpara de 1961 à 1987 de 1988 à 2018.

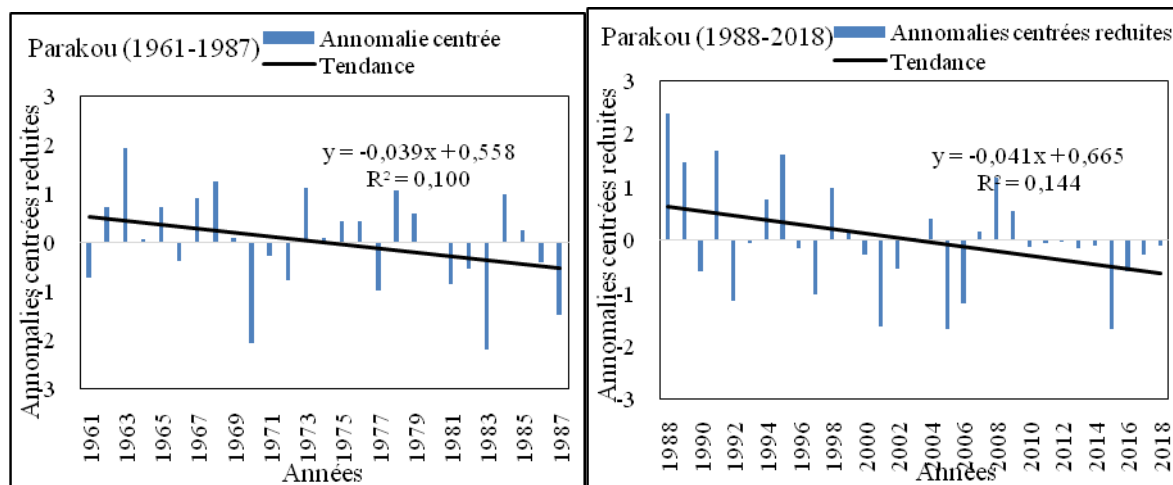


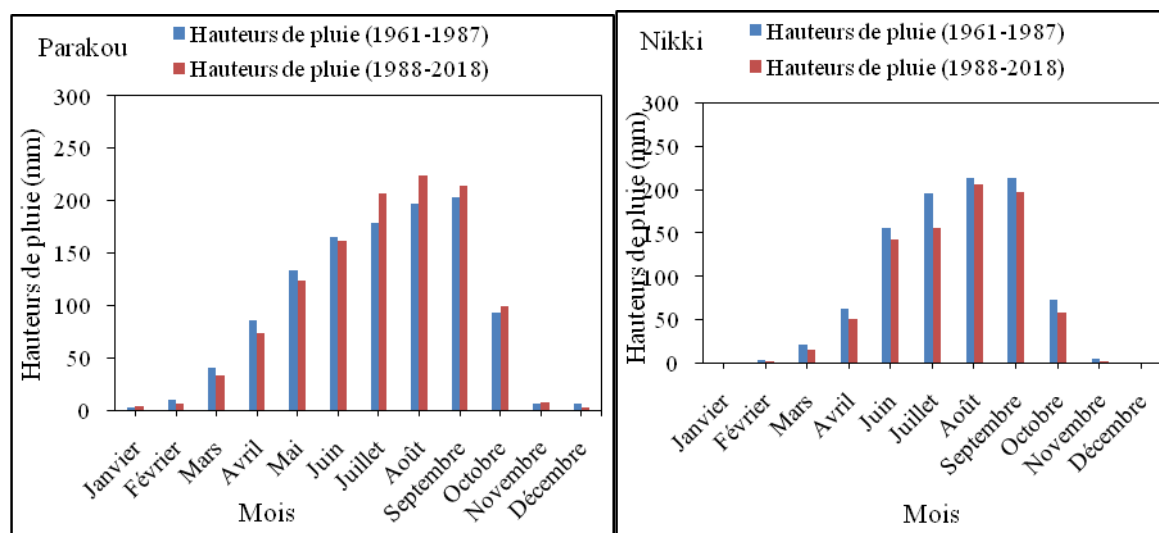
Figure 8 : Indice pluviométrique interannuel de 1961 à 1987 de 1988 à 2018. (Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2019).

L'analyse des figures 5, 6, 7 et 8 permet de constater que le secteur de recherche est marqué par une forte variabilité pluviométrique qui se présente sous la forme d'une alternance d'années déficitaires, moyennes et excédentaires.

En effet, au niveau de la station d'Okpara il y a plus d'années déficitaires sur la période de 1988-2018 que sur la période 1961-1987. Les coefficients de régression sont négatifs sur les deux périodes dans cette station ce qui justifie la baisse des tendances observées. Cette même variation a été observée au niveau de la station d'Ina. La station de Nikki présente plusieurs années normales sur les deux sous périodes. Celles déficitaires ont été observées et remarquées au cours de la période de 1988-2018. Sur la période de 1968-1987, la station présente une tendance à la baisse et à la hausse sur la période de 1988-2018. Avec cette tendances, les indices pluviométriques indiquent que nous passons des années déficitaires vers excédentaires. Les données de la station de Parakou indiquent que les années déficitaires sont dominantes sur la période de 1988-2018. Les tendances sur les deux sous périodes sont à la baisse.

➤ Régimes pluviométriques par domaine climatique et par sous-période

Les régimes pluviométriques avant et après rupture de stationnarité présentent les mêmes évolutions au pas de temps mensuels et que les hauteurs de pluie de la période avant la rupture ont une tendance à la baisse (figure 9).



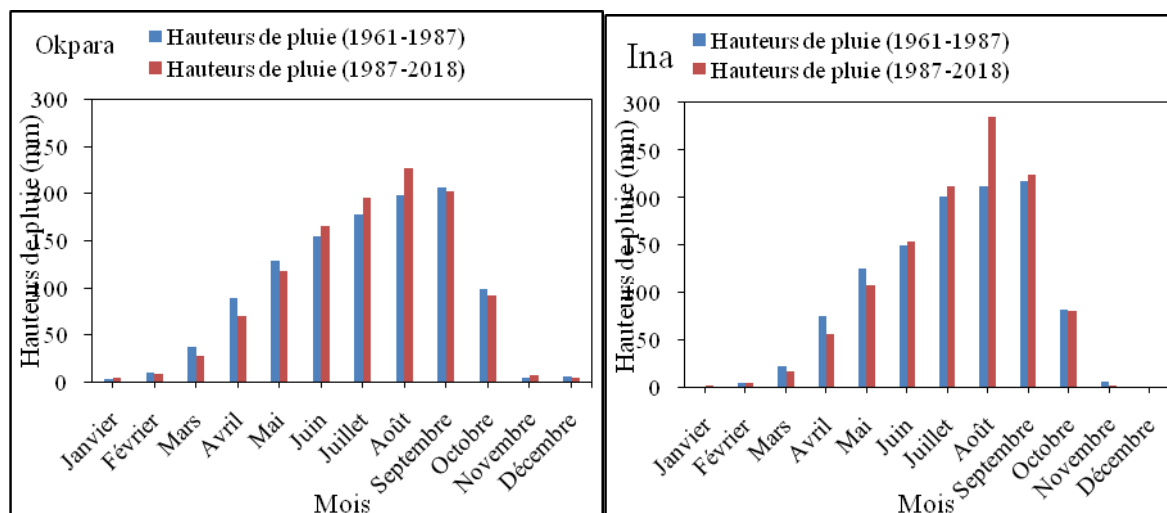


Figure 9 : Variation inter-mensuelle des précipitations entre 1961 et 1987 et entre 1988 et 2018.

L'analyse de la figure 9 montre que l'étude comparée des deux sous-périodes permet de mettre en évidence une hausse marquée des hauteurs de pluie saisonnières sur la période 1961-2018 avec un maximum en août. 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 au niveau des différentes stations du sous bassin de Nano. Il faut noter que la station de Nikki présente une spécificité peu particulière. Ainsi, il est constaté que les hauteurs de pluie sur la période de 1961-1987 sont plus élevées que celles observées sur la période de 1988-2018.

Ces différentes ruptures, significatives au seuil de 95 %, sont en phase avec celles détectées par des travaux antérieurs entre la fin de la décennie 1960 et le début de la décennie 1970, dans la région ouest-africaine et centrale [12, 13]. Au Bénin, les mêmes ruptures ont été mises en évidence par plusieurs auteurs [4, 14] pour les années 1970 et pour les années 1987 [10, 11, 8, 15].

3.3. Variabilité hydrométrique dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano

La figure 10 présente la variation interannuelle de l'écoulement dans le sous bassin de Nano.

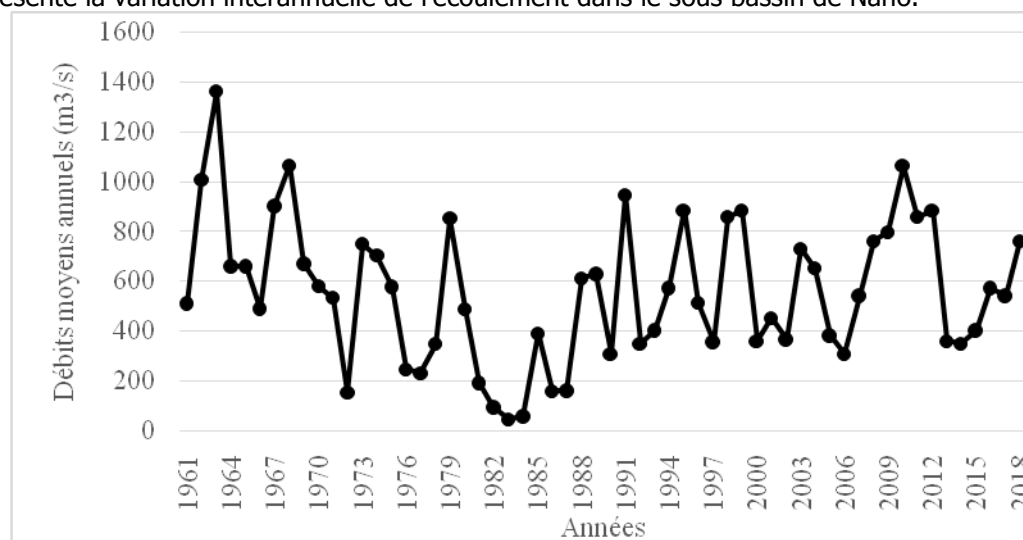


Figure 10 : Variation interannuelle de l'écoulement dans le sous bassin de Nano.
(Source : DG-Eau et traitement des données, 2019).

La figure 10 montre que les débits annuels ont connu une évolution en dents de scies de 1961 à 2018. En effet, de 1359 mm en 1963, ont chuté à 160 mm en 1987 puis atteint 1062 mm en 2010. Cette tendance est le signe d'une amélioration durable des conditions du système hydrologique et d'une disponibilité des ressources en eau dans le sous bassin de Nano.

Pour mieux comprendre le comportement de l'écoulement dans le sous bassin sur la période 1971-2018 il s'avère nécessaire de procéder à la recherche la rupture de stationnarité dans les séries hydrométriques (figure 11).

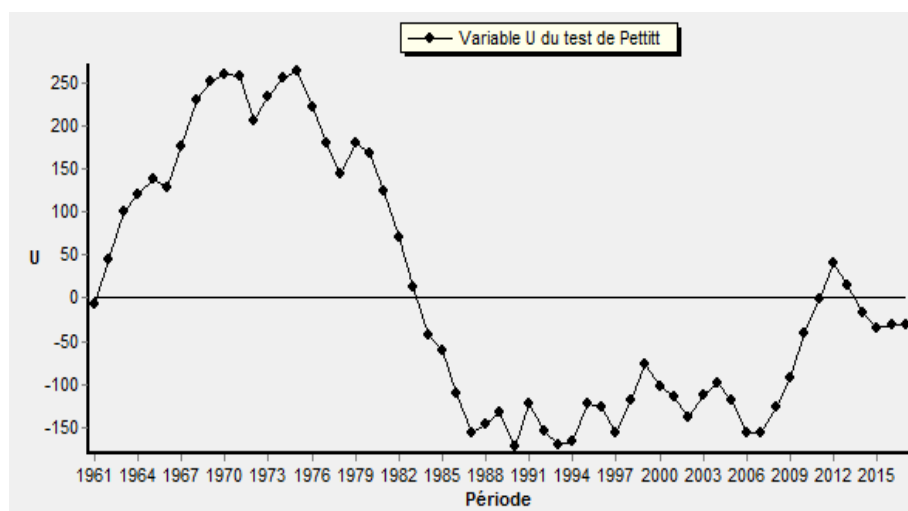


Figure 11 : Mise en évidence d'une rupture de stationnarité dans les séries hydrologiques. (Source : DG-Eau et traitement des données, 2019)

Il ressort de l'analyse de la figure 11 qui montre que la rupture dans la série est survenue en 1987. Ceci justifie la baisse des ressources en eau dans le sous bassin de Nano sur la période de 1961 à 1987.

En somme il faut retenir de ces différentes analyses que la période avant les années 1970 a été globalement plus humide par rapport aux décennies des années 1980 et qu'à partir des années 1990, le secteur d'étude est confronté à une légère augmentation des hauteurs de la lame d'eau écoulee. Ces résultats sont en phases avec les années de rupture observées dans les chroniques de pluies. Il convient de dire que la variabilité pluviométrique a réellement eu des répercussions sur la dynamique hydrologique du bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano.

3.4. Évolution de la lame d'eau écoulee sur les sous-périodes dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano

La figure 12, présente l'évolution des débits moyens mensuels par sous-période dans le bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano.

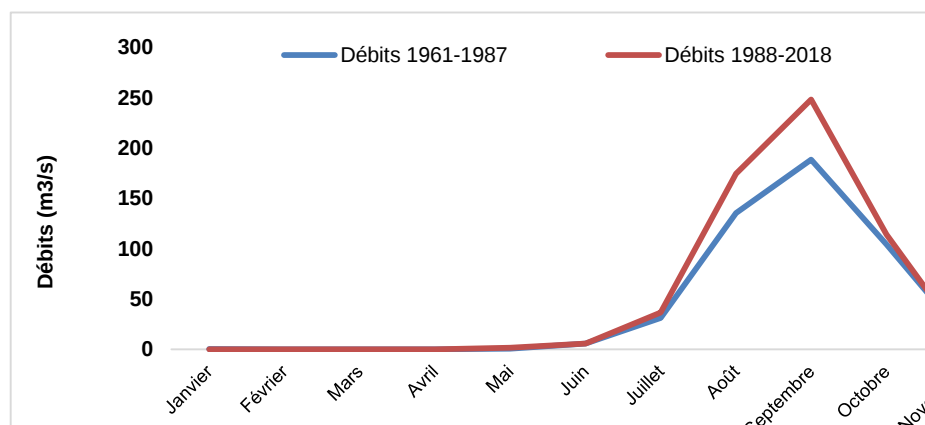


Figure 12 : Variation saisonnière des débits dans le sous bassin de Nano sur les sous-périodes 1961-1987 et 1987-2018. (Source : DG-Eau et traitement des données, 2019).

L'analyse de la figure 12 montre que les mois d'août, septembre et octobre sont les mois qui connaissent de fortes augmentations d'écoulement. La disponibilité des ressources en eau, a été impactée à la reprise des années humides. Les écoulements ont connu une amélioration sur la période de 1994 à 2018 grâce au retour à des situations pluviométriques plus favorables. Cependant, cet état ne garantit pas la disponibilité des ressources en eau dans le sous bassin de Nano. L'écart des débits cumulés observés sur les périodes de 1961-1987 et 1988-2018 entre les mois de juillet à octobre est très remarqué et important et ceci est dû à l'augmentation de la température. Ce résultat est en harmonie avec les analyses de la variabilité pluviométrique présentées dans ce chapitre et confirment que les ruptures de stationnarité de la variabilité pluviométrique ont eu de répercussions sur le régime hydrologique du sous bassin de Nano.

➤ Coefficient d'écoulement

La figure 13 présente l'évolution interannuelle du coefficient d'écoulement entre 1961 et 2018.

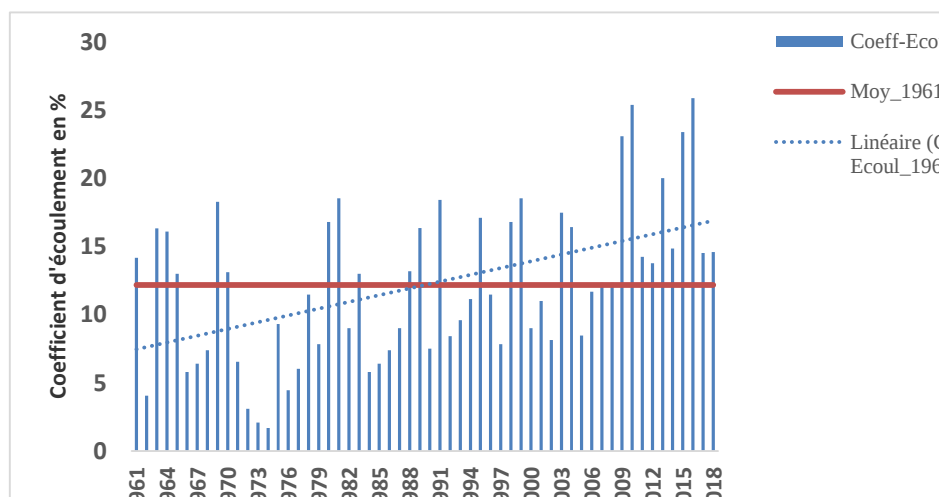


Figure 13 : Variation du coefficient d'écoulement sur la période 1961-2018
(Source : DG-Eau et traitement des données, 2019).

L'analyse de la figure 13 montre que sur la période 1961-2018, le coefficient d'écoulement moyen est de 12,17 % dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano. Cette valeur traduit l'effet de la variation des lames d'eau précipitées dans le milieu. La tendance à la hausse du coefficient d'écoulement dans le bassin pourrait se justifier par la forte anthropisation du milieu du fait de l'augmentation des activités humaines. La figure 14 présente l'évolution du coefficient d'écoulement avec une moyenne par sous période.

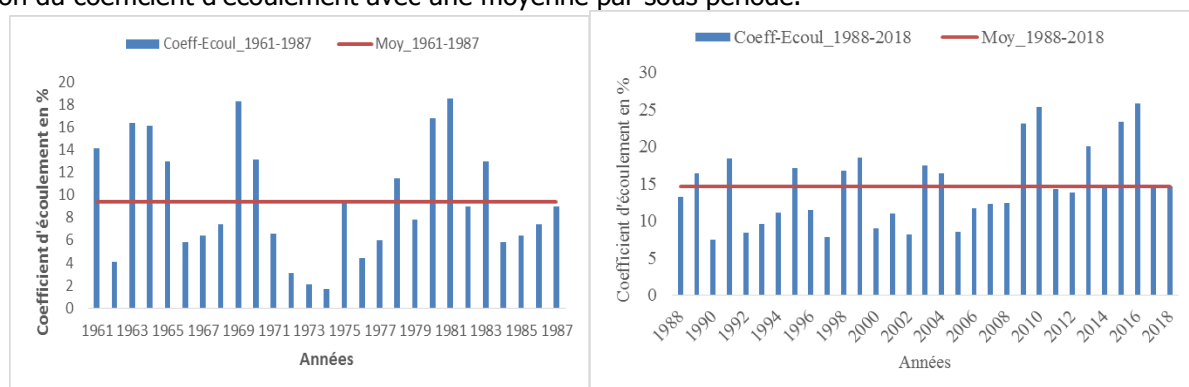


Figure 14 : Evolution des moyennes interannuelles du coefficient d'écoulement par sous période (1961-1987) et (1988-2018).

De l'analyse de la figure 14, il ressort que sur la sous période 1961-1987, le coefficient d'écoulement moyen est de 9,37 % tandis que le même coefficient est de 14,61 % sur la sous période de 1988 à 2018 dans le sous bassin. L'augmentation du coefficient d'écoulement au niveau de la deuxième sous période traduit une légère reprise à la hausse des précipitations après la récession de la décennie 1970, mais également à cause des formations géologiques en place notamment le socle.

3.5. Incidence des variations pluviométriques sur les termes du bilan dans le sous bassin de l'Okpara à l'exutoire de Nano

L'analyse des impacts des variations pluviométriques sur les autres termes du bilan hydrologique met en exergue le fait que, pour une hauteur de pluie de 100 % reçue dans le sous bassin versant de l'Okpara, 64 à 74 % sont évaporées. De même, 17 à 22 % constituent la recharge et 9 à 14 % représentent l'écoulement. Le tableau 3 présente la proportion de chaque terme du bilan hydrologique.

Tableau 3 : Proportion de chaque terme du bilan hydrologique pour 100 % de pluie par sous période dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano.

	Pluie	ETR (%)	Écoulement (%)	Infiltration (%)
1961-1987	100	74	9	17
1988-2018	100	64	14	22

(Source: Traitement de données, 2020)

Il ressort de l'analyse du tableau 3, que la plus faible part revient à l'écoulement tandis que la plus importante part est attribuée à l'évaporation à travers d'énormes pertes.

La figure 15, présente la variabilité interannuelle des termes du bilan hydrologique dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano.

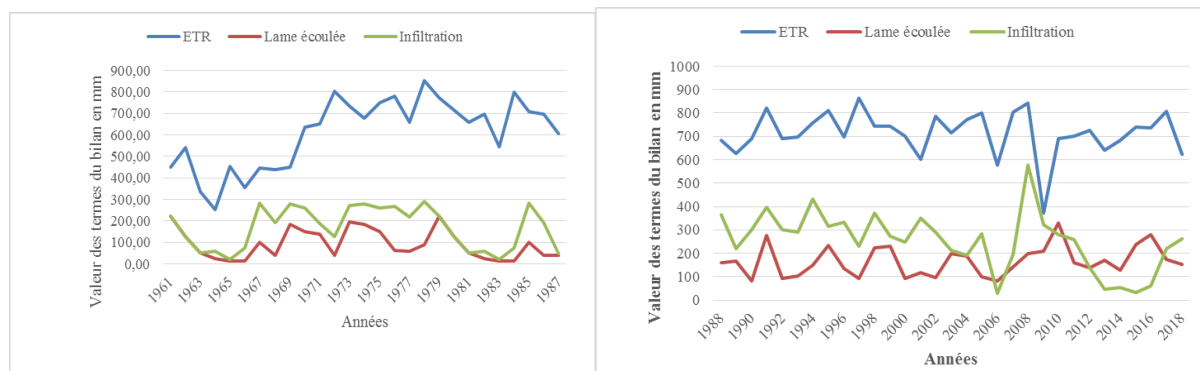


Figure 15 : Variation des termes du bilan hydrologique par sous périodes dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano 1971 à 2018. (**Source :** Traitement de données, 2020).

Il ressort après analyse de la figure 15 que la pluie est l'élément fondamental qui conditionne les autres paramètres du bilan hydrologique. Ainsi des pluies moyennes de 1078,89 mm ont entraîné un écoulement moyen de 139 mm, des infiltrations moyennes de 226 mm et une évapotranspiration de 713 mm. Il s'ensuit donc que pour 100 % de pluie dans le bassin, 66 % sont destinées à l'évapotranspiration, 12 % à l'écoulement et 20 % l'infiltration. Le taux d'évaporation est donc très élevé sur l'ensemble du bassin. Il est à remarquer que la période de récession pluviométrique (1961-1987) enregistre moins d'évaporation, et d'écoulement que la période de retour des hauteurs de pluies (1988-2018) sur le bassin. Le tableau VI présente l'évolution comparée des fluctuations pluviométriques et des autres termes du bilan hydrologique en mm dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano.

Tableau 4 : Evolution comparée des fluctuations pluviométriques et des autres termes du bilan hydrologique en mm dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano 1961 à 2018

Paramètre climatique	Sous période	Sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano
Pluie	1961-2018 (mm)	1078
	1961-1987 (mm)	979
	1988-2018 (mm)	1133
	Ecart	-154
	Déficit (%)	-15
Evaporation	1961-2018 (mm)	712
	1961-1987 (mm)	713
	1988-2018 (mm)	778
	Ecart	-9
	Déficit (%)	-1,27
Écoulement	1961-2018 (mm)	139
	1961-1987 (mm)	91
	1988-2018 (mm)	165
	Ecart	-74
	Déficit (%)	-81
Recharge	1961-2018 (mm)	226
	1961-1987 (mm)	175
	1988-2018 (mm)	254
	Ecart	-79
	Déficit (%)	-45

(Source: Traitement de données, 2020).

On retient de l'analyse du tableau 4, que le déficit pluviométrique observé dans le sous bassin de Nano entre les périodes 1971-1987 et 1988-2018 est de -15 %. Le déficit d'écoulement entre les deux périodes est très important - 81 % soit plus de cinq fois le déficit pluviométrique observé dans ce même bassin. La baisse de la pluviométrie entre les deux périodes a sans aucun doute des répercussions importantes sur la recharge de bassin. Le déficit de la recharge entre les deux périodes est de -45 %.

4. DISCUSSION

Le système climatique planétaire dans lequel s'inscrit l'Afrique de l'Ouest et le Bénin à travers le département du Borgou, subit des modifications à grande échelle qui restent amplifiées par les facteurs naturels et anthropiques tant régionaux, que locaux. L'analyse des conditions hydrologiques dans le bassin de l'Okpara montre que la forte variabilité des hauteurs de pluie au cours de la période 1971-2018 a eu des répercussions sur l'écoulement moyen du sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano. Ces résultats corroborent ceux Obtenus par KOUASSI (2007) [16] en Côte-d'Ivoire et Ogouale (2013) [10]. Pour ce dernier, une hauteur de pluie de 100 % dans le bassin versant de l'Okpara, 83 % sont destinés à l'évaporation, 5 à 7 % à l'infiltration et 12 à 15 % à l'écoulement. Dans

cette étude, pour 100 % de pluie dans le bassin, 66 % sont destinées à l'évapotranspiration, 12 % à l'écoulement et 20 % l'infiltration. Dans tous les cas on note que l'évaporation reste élevée dans le bassin au détriment des autres termes du bilan hydrologique. Une étude similaire menée par Atchade (2014), parvient aux mêmes résultats et montrent que, le bassin versant de la rivière Zou est soumis à une fluctuation des paramètres climatiques sur la période allant de 1965 à 2010 [8]. Cette dernière influence l'écoulement sur l'ensemble du bassin, mais avec un effet plus important dans le sous-bassin de Atchérigbé. Dans ce contexte, GIEC, (2014) reste alarmant et affirme que ce phénomène se poursuivra et contribuera certainement à accélérer la dégradation des ressources naturelles déjà fragilisé par les sécheresses récurrentes [1]. Sur cette base, les pratiques à promouvoir doivent être proposées de façon concertée et en tenant compte des réalités agro-écologiques et socioéconomiques des bénéficiaires si la dimension de durabilité des stratégies veut être atteinte.

5. CONCLUSION

Le présent travail contribue à une meilleure connaissance des déterminants hydroclimatiques et leurs impacts sur les ressources en eaux superficielles dans le sous bassin versant de l'Okpara à Nano. De l'analyse des tendances hydroclimatiques de 1961 à 2018, il est noté que la pluie est un paramètre indispensable pour le rechargement des sources d'eaux. Ainsi, les résultats de l'étude montrent que le sous bassin versant de l'Okpara à Nano, est sujet à des modifications temporelles des hauteurs de pluie depuis la récession pluviométrique de 1970 qui a frappé toute l'Afrique. Cependant, il faut observer une légère reprise des hauteurs de pluie au début des années 1990 ce qui confirme la rupture de stationnarité positive constatée à partir de 1987 dans l'étude. Cette situation impacte fortement l'écoulement avec plusieurs autres conséquences sur les ressources en eaux. Il urge donc de comprendre désormais de façon efficiente les systèmes climatiques dans lequel s'intègre le sous bassin versant de l'Okpara à Nano en général et d'identifier les différentes potentialités dont elle dispose afin de développer ces dernières à des fins d'adaptations aux fluctuations pluviométriques et de leurs retombées sur les ressources en eaux de surface.

6. REFERENCES

1. GIEC, (2014) : *Changements climatiques 2014 Rapport de synthèse finale du GIEC sur le Climat*, 180p.
2. Faye, C., 2014. Variabilité et tendances observées sur les débits moyens mensuels, saisonniers et annuels dans le bassin de la Falémé (Sénégal). *Hydrological Sciences Journal*, Disponible sur : DOI: 10.1080/02626667.2014.990967.
3. VISSIN Expédit Wilfrid., HEDIBLE Sidonie, AMOUSSOU Ernest, TOTIN Henri Sourou, ODOULAMI Léocadie, Etene Cyr Gervais, Boko M. et Bilivi A., (2016) : Variabilité climatique et hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou. *Journal de la recherche scientifique de Lomé*, vol 18, n°2
4. 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.
5. HOUNDENOU Constant (1999) : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide ; exemple du Bénin, diagnostique et modélisation. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bourgogne, 197p.
6. OGOUWALE Euloge (2006) : Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarii et perspectives de la sécurité alimentaire. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 302 p.
7. Nicholson S. E., 1990. Variabilité climatique interannuelle et interdécennale de la pluviométrie sur le continent africain au cours des deux derniers siècles. Dans la variabilité des ressources en eau en Afrique au XXe siècle (édité par E. Servat, D. Hughes, J. M. Fritsch et M. Hulme) Abidjan, Côte d'Ivoire, pp 107-116.
8. ATCHADE Assaï Akinni Gervais (2014) : Impacts de la dynamique du climat et de l'occupation des terres sur les ressources en eau du bassin versant de la rivière Zou dans le Bénin méridional. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 235p.
9. MAHE Gil et OLIVRY Jean Claude, 1995. Variation des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. In Sécheresse, Paris, pp.109 - 117.
10. OGOUWALE Romaric (2013) : Changements climatiques dynamique des états de surfaces et perspectives sur les ressources en eau dans le bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Kaboua thèse de Doctorat unique, Université d'Abomey-calavi, Bénin 203p.
11. AKOGNONGBE Arsène (2014) : Influence de la variabilité climatique et les activités anthropiques sur les eaux de surface dans le bassin de l'Ouémé à Bétou au Bénin. Thèse de doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, 255p.
12. CARBONNEL J P. et HUBERT P., (1992) : Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne: Remises-en cause de la stationnarité des séries. In L'aridité. Une contrainte au développement; Editions ORSTOM, pp. 37-51.
13. ARDOIN-BARDIN Sandra (2004): Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, 437 p.
14. TOTIN VODOUNNON Sourou Henri (2010) : Sensibilité des eaux souterraines du bassin versant sédimentaire côtier du Bénin à l'évolution du climat et aux modes d'exploitation : Stratégies de gestion durable. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi. 272 p.
15. KODJA Domiho Japhet (2018) : Indicateurs des événements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-calavi, 288 p.
16. KOUASSI Amani Michel (2007) : Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université de Cocody (Côte d'Ivoire), 210p.



Cite this article: Sylvestre OGOUWALE, Séraphin CAPO ATIDEGLA, Luc O. C. SINTONDJI. DETERMINANTS HYDROCLIMATIQUES ET DISPONIBILITES DES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES DANS LE SOUS BASSIN VERSANT DE L'OKPARA A L'EXUTOIRE DE NANO AU BENIN. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2021; 13(1): 1-13.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>