

Analyse de l'impact de la variabilité des régimes pluviométriques sur les ressources en eau du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire

Bi Guessan Armand KOUASSI¹, Zilé Alex KOUADIO^{1*} et Daouda KONATE²

¹ *Université Jean Lorougnon Guedé de Daloa, Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

² *SODEXAM, Direction de la Météorologie Nationale, 15 BP 990 Abidjan 15, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 07 Février 2023 ; Accepté le 15 Mars 2023)

* Correspondance, courriel : kazile2004@yahoo.fr

Résumé

La présente étude vise à analyser l'impact de la variabilité pluviométrique sur la réponse hydrologique du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré (Côte d'Ivoire). Ce bassin est soumis à trois régimes climatiques. La pluie et le débit mensuel utilisés couvrent la période 1971 - 2010. Les données de pluie ont été collectées à partir de quatre stations dont une station pluviométrique (Borotou) et trois stations synoptiques (Odienné, Daloa et Man). Les données de débits par contre, proviennent de trois stations hydrométriques que sont Piébli, Loboville et Kahin. Une approche exploratoire des principaux indices saisonniers a été appliquée. A l'analyse des résultats, on note un important déficit pluviométrique marqué par des séquences sévèrement sèches. Cependant, le déficit hydrologique se caractérise sous ces régimes respectifs par des sécheresses de type modéré pour le fleuve Sassandra à Piébli et le N'Zo à Kahin puis sévère pour la Lobo à Loboville. Une perturbation hydrologique marquée par un temps de concentration maximal (un mois) des eaux à l'exutoire est aussi mise en évidence par une étude de la stabilité du processus hydrologique pour montrer que ce régime est stochastique.

Mots-clés : *fleuve Sassandra, régime pluviométrique, régime hydrologique, variabilité hydroclimatique.*

Abstract

Rainfall regimes variability impact on the water resources of the Sassandra river's watershed in Soubré, south-west of Côte d'Ivoire

This study aims to analyse the impact of rainfall variability on the hydrological response of the Sassandra River catchment in Soubré (Côte d'Ivoire). This basin is subject to three climatic regimes. The rainfall and monthly discharge used cover the period 1971 - 2010. The rainfall data were collected from four stations, including one rainfall station (Borotou) and three synoptic stations (Odienné, Daloa and Man). The flow data, on the other hand, was collected from three hydrometric stations: Piébli, Loboville and Kahin. An exploratory approach to the main seasonal indices was applied. Analysis of the results shows a significant rainfall deficit marked by severe dry spells. However, the hydrological deficit is characterised under these respective

regimes by moderate droughts for the Sassandra River at Piébli and the N'Zo at Kahin and severe droughts for the Lobo at Loboville. A hydrological disturbance marked by a maximum concentration time (one month) of water at the outlet is also highlighted by a study of the stability of the hydrological process to show that this regime is stochastic.

Keywords : *Sassandra River, rainfall regime, hydrological regime, hydroclimatic variability.*

1. Introduction

Le changement et la variabilité climatique constituent actuellement une menace majeure pour le développement socio-économique des populations vulnérables des pays en développement [1, 2]. L'évaluation de l'impact du changement climatique et de la variabilité climatique, bien qu'elle soit approximative, est encore délicate à cause de la complexité spatiale et temporelle des différents paramètres et des équipements de mesure [3]. En Afrique de l'ouest et particulièrement en Côte d'Ivoire, des études menées sur le climat ont mis en évidence des ruptures climatiques autour des années 1970 [4 - 7]. Les principales conséquences en sont la baisse des précipitations et la diminution des écoulements, qui sont particulièrement perceptibles dans les bassins versants fluviaux [8]. A cela il faut ajouter une forte variabilité climatique qui se traduit par une forte irrégularité interannuelle des précipitations et des écoulements [9]. Ces bouleversements climatiques ont eu des répercussions négatives sur l'environnement en général et les écoulements en particulier. C'est le cas du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré, site de cette étude. En effet, ce bassin subit de fortes pressions anthropiques notamment : les pratiques culturelles, la présence de barrages hydroélectriques et agropastoraux, les rejets de débris et eaux usées de tous genres. Toutes ces pressions anthropiques peuvent entraîner un comportement plus complexe de son flux [10]. Le bassin versant du fleuve Sassandra est aussi parcouru par trois régimes climatiques qui se manifestent diversement. Chaque régime agit sur les écoulements selon la variabilité de ses précipitations (intensité et nombre de jour) et des réalités physiques du bassin. Sur le fleuve Sassandra, il est construit d'importants barrages hydroélectriques de Soubré (275 MW) et de Buyo (165 MW). Au regard de l'importance des ressources hydrologiques du Sassandra, il convient de mener une analyse en rapport avec l'action simultanée des trois régimes pluviométriques afin de mieux apprécier la réponse hydrologique du bassin de Sassandra à Soubré. Il s'agit de caractériser la variabilité des régimes pluviométriques et hydrologiques, d'une part, et partant de montrer l'impact de la variabilité du climat sur la réponse hydrologique du bassin versant du fleuve Sassandra.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description du site de l'étude

Le fleuve Sassandra prend sa source en Guinée vers 700 m d'altitude [6]. De l'amont à l'exutoire, les affluents importants sont le Boa, le N'Zo, la Lobo et le Davo juste avant son embouchure dans l'océan Atlantique au niveau de la ville de Sassandra. Deux barrages hydro-électriques ont été construits en 1980 à Buyo et en 2017 à Soubré. Le fleuve Sassandra a une longueur totale de 650 km et une superficie de 75000 km². Du point de vue hydrologique, c'est l'un des fleuves les plus importants de la Côte d'Ivoire [11, 12]. La portion guinéenne du fleuve couvre une superficie d'environ 8000 km². La présente étude est menée sur le bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré. Il est compris entre les longitudes 5° 45' et 8° 45' Ouest et les latitudes 5° 55' et 9° 45' Nord (*Figure 1*) avec une superficie de 54670 km². Le bassin versant du Sassandra est soumis à trois régimes climatiques :

- le régime tropical de transition avec une saison des pluies bien marquée d'avril à octobre et une saison sèche de novembre à mars ;
- le régime équatorial de transition atténué avec une saison des pluies de mars à octobre, suivie d'un ralentissement en juillet et une saison sèche de novembre à février ;
- le régime des montagnes caractérisé par une saison des pluies assez longue et bien marquée de mars à octobre et une courte saison sèche de novembre à février.

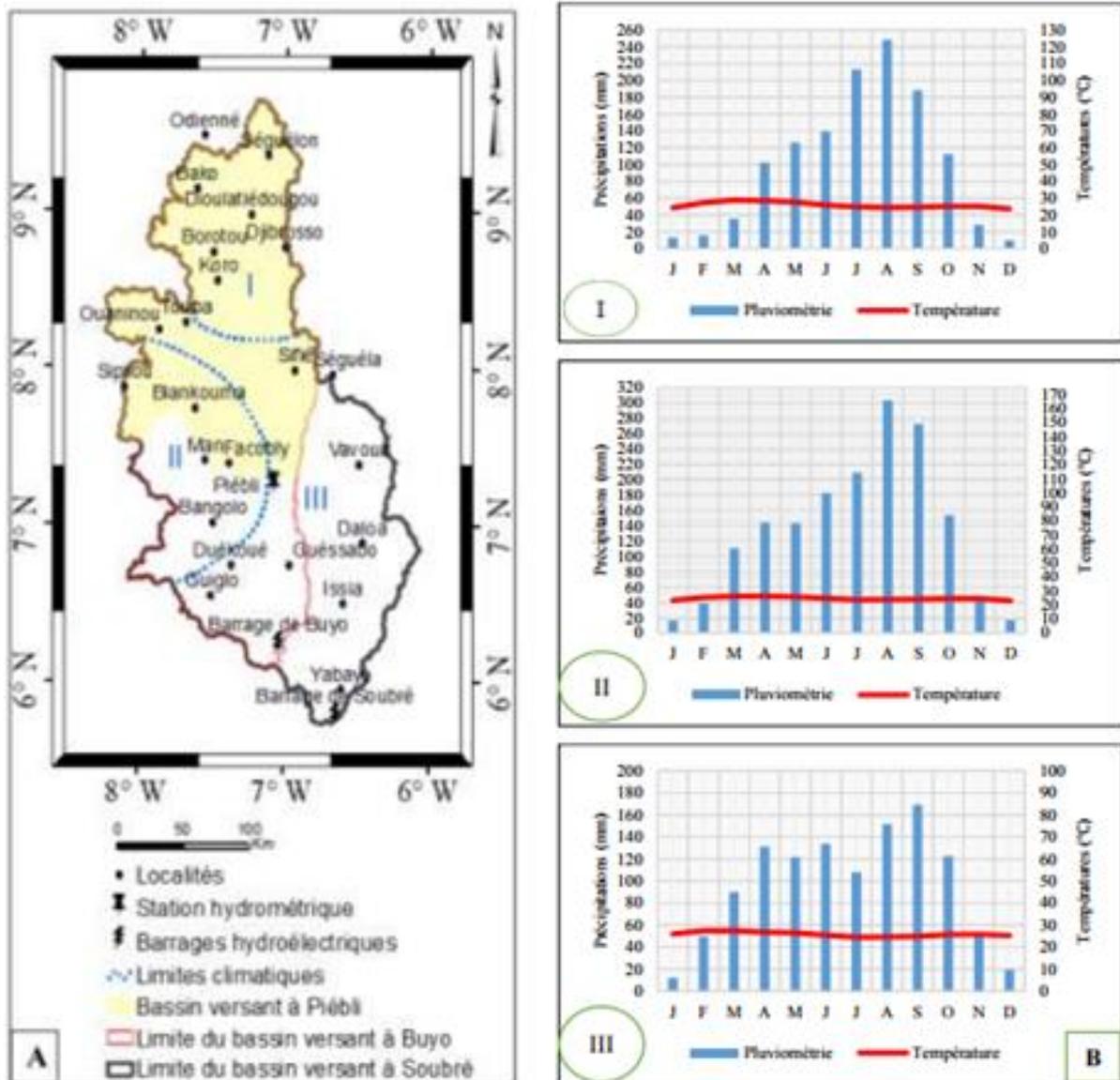


Figure 1 : Localisation du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré et les régimes climatiques

2-2. Données utilisées

Les données hydro-climatiques comprennent la pluviométrie et le débit, tous deux au pas de temps journalier. Elles couvrent la période 1971-2010. Les données de pluie sont produites par la SODEXAM (Société de Développement et d'Exploitation Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique) aux stations de Borotou, Odienné, Daloa, et Man. Quant aux débits, ils sont fournis par la Direction de l'Hydraulique aux stations hydrométriques des fleuve Sassandra à Piébli, Lobo à Loboville et N'Zo Kahin.

2-3. Méthodes

2-3-1. Caractérisation de la variabilité hydro climatique

Après la critique des données [13, 14], les indices *SPI* et *IHN* qui sont des indices centrés réduits ont été utilisés pour quantifier le déficit pluviométrique et hydrologique à des échelles de temps multiples [15]. Ils sont adoptés comme un instrument mondial pour caractériser les sécheresses météorologique et hydrologiques [16]. Ils sont calculés à l'aide des expressions (1) et (2).

$$SPI = \frac{P_i - P_m}{\sigma} \quad (1)$$

P_i étant la précipitation mensuelle ou annuelle (en mm), P_m la pluie moyenne (en mm) de la série à l'échelle temporelle considérée et σ l'écart-type de la série à l'échelle temporelle considérée.

$$IHN = \frac{D_i - D_m}{\sigma} \quad (2)$$

D_i étant le débit du mois ou de l'année i (m^3/s) et D_m le débit moyen (m^3/s) de la série à l'échelle temporelle considérée.

Ainsi, une sécheresse sévit lorsque les indices *SPI* et *IHN* sont consécutivement négatifs. Elle se termine lorsque le *SPI* ou l'*IHN* devient positif. La durée maximale D des séquences sèches est calculée, elle s'exprime à l'aide de la **Relation (3)** [12] :

$$D = (A_{fin} - A_{début}) + 1 \quad (3)$$

A_{fin} et $A_{début}$ étant respectivement les années de la fin et du début de la période sèche.

La fréquence cumulée F de sécheresse donne une idée de l'occurrence des séquences sèches sur une période d'étude donnée. L'expression (4) est sa **Formule** de calcul [17] :

$$F = \frac{f_n}{N} * 100 \quad (4)$$

f_n étant l'effectif cumulé des séquences sèches et N l'effectif total de la série étudiée.

L'intensité de la sécheresse indique l'ampleur du déficit d'eau. Les valeurs extrêmes de *SPI* ou *IHN* sont évaluées et considérées comme les valeurs de référence de l'intensité des séquences de sécheresse. La caractérisation de la variabilité des régimes hydro-pluviométriques se fait par l'analyse des normales, des décennales et des jours pluvieux. Les normales retenues sont 1971-2000 et 1981-2010. Quant aux décennies choisies, elles sont les suivantes : 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 et 2001-2010. La caractérisation des régimes pluviométriques intègre également les fréquences des jours pluvieux [18]. La typologie des précipitations journalières que nous proposons est liée aux normes internationales de seuil définies par l'Organisation Météorologique Mondiale en 1990.

2-3-2. Caractérisation de l'impact de la variabilité du climat sur les écoulements

Il s'agit d'évaluer l'influence du climat sur les lames d'eau écoulée ainsi que la stabilité hydro-physique du bassin versant. Pour mettre en évidence cette influence, la pluie et le débit sont mis en relation sur les trois

régimes climatiques du bassin versant, d'une part pour les deux normales et d'autre part pour les quatre décennies. Les lames d'eau saisonnières écoulées sont calculées par la **Relation** suivante [19] :

$$Le = \frac{86,4.A.Q}{S} \tag{5}$$

Le étant la lame annuelle écoulée (mm), *Q* le débit considéré (m^3/s), *S* la superficie du bassin versant (km^2) et *A* le nombre de jour de la période d'étude.

L'influence de la variabilité du climat sur le régime hydrologique est aussi mise en évidence à travers le critère de stabilité (critère β) [20]. L'instabilité du régime hydrologique dans une zone territoriale climatique stipule que la formation du débit se montre instable selon chacun des trois coefficients : débit moyen \bar{Q} annuel, coefficient de variation C_V et coefficient d'asymétrie C_S . Cela signale une déformation de la courbe de densité de probabilité $P(Q)$, d'apparition d'un débit Q . L'expression de β est la suivante :

$$\beta = 2k.ln(r) + 2 \tag{6}$$

r étant le coefficient d'autocorrélation pour une translation d'un an dans une série de débits et *k* le coefficient d'écoulement.

Le critère stipule la conclusion suivante :

- Si $\beta < 0,67$ alors c'est un cas de stabilité de tous les trois moments
- Si $0,67 \leq \beta < 1$ alors le régime est stable suivant \bar{Q} et C_V mais instable suivant C_S .
- Si $1 \leq \beta < 1,8$ alors instable suivant C_V et C_S mais stable en \bar{Q}
- Si β tend vers 2 alors instable suivant \bar{Q} , C_V et C_S , par conséquent il n'y a pas de stabilité.

3. Résultats

3-1. Variabilité des régimes pluviométriques

3-1-1. Intensité de la sécheresse pluviométrique

A l'échelle mensuelle, les séquences sèches les plus remarquables sont enregistrées aux mois de décembre à janvier. La normale 1971-2000 apparait avec une intensité de pluie plus sèche que celle de 1981-2010 en mars à Daloa et en avril à Odienné. A Man, la normale 1981-2010 apparait avec une intensité plus sèche par rapport à celle de 1971-2000 en avril. Les deux normales atteignent leurs pics en Août à Odienné et à Man. A l'échelle annuelle, les sécheresses de type « sévère » sont enregistrées à Man (-1,9) en 1983, Daloa (-1,6) en 2001 et Odienné (-1,7) en 2004 et 2006. Nous observons également une sécheresse pluviométrique à Odienné sur les périodes 1983-1988 et 2002-2007, puis à Daloa sur la période 1990-1994 et à Man sur la période 1989-1993.

3-1-2. Durée et la fréquence de la sécheresse pluviométrique

Le **Tableau 1** indique que la durée maximale des épisodes de sécheresse pluviométrique et la fréquence des séquences sèches varient d'une zone climatique à l'autre autant à l'échelle annuelle que mensuelle. A l'échelle annuelle, à Odienné, Daloa et Man, les plus longues sécheresses sont observées respectivement de 1983 à 1988 (6 ans), 1990-1994 (5 ans) et de 2000 à 2007 (8 ans). Les fréquences des épisodes de sécheresse

correspondantes sont de 45 % à Odienné, 55 % à Daloa et 60 % à Man. A l'échelle mensuelle, les épisodes de sécheresse ont duré d'Octobre à Avril à Odienné, de mi-October à Avril à Daloa et d'October à Mars à Man avec des fréquences respectives de 58,33 % (Odienné), 54,17 % (Daloa) et 50,00 % (Man).

Tableau 1 : Durée maximale et Fréquence cumulée de la sécheresse pluviométrique

Paramètres	Odienné	Daloa	Man
Echelle annuelle			
Durée maximale (années)	1983-1988 (6 ans)	1990 - 1994 (5 ans)	2000 - 2007 (8 ans)
Fréquence cumulée (%)	45 %	55 %	60 %
Echelle mensuelle			
Durée maximale (mois)	October à Avril	mi-October à Avril	October à Mars
Fréquence cumulée (%)	58,33 %	54,17 %	50,00 %

3-1-3. Normales, décennales pluviométriques et jours pluvieux

L'analyse des normales pluviométriques montrent qu'à l'échelle annuelle les deux normales 1971 - 2000 et 1981 - 2010 ont la même allure dans chaque zone climatique. De plus, les pics sont atteints en Septembre à Daloa et en Août à Odienné et Man (**Tableau 2**). A l'échelle mensuelle, on note globalement une baisse des valeurs maximales au niveau des hauteurs pluviométriques décennales (1971 - 1980, 1981 - 1990, 1991 - 2000, 2001 - 2010). A Odienné, la pluie maximale est passée en Août, de 309 mm à 240 mm de la décennie 1971-1980 à 2001-2010, soit une baisse pluviométrique de 30,74 % en trois décennies. A Daloa, la valeur maximale est passée de 221 mm de la décennie 1981 - 1990 à 103 mm en Août à la décennie 1991 - 2000, soit une baisse pluviométrique de 53,39 % en une décennie. A Man, la valeur maximale est passée de 314 mm à 306 mm de la décennie 1981 - 1990 à la décennie 2001 - 2010, soit une baisse pluviométrique de 0,02 % en deux décennies.

Tableau 2 : Caractéristiques des normales pluviométriques par régime climatique

		Normale 1971 - 2000	Normale 1981 - 2010
Odienné	Valeur max du pic (mm)	323	289
	Mois du pic	Août	Août
Daloa	Valeur max du pic (mm)	181	167
	Mois du pic	Septembre	Septembre
Man	Valeur max du pic (mm)	288	302
	Mois du pic	Août	Août

3-2. Variabilité des régimes hydrologiques

3-2-1. Intensité de la sécheresse hydrologique

A l'échelle mensuelle, les intensités des séquences sèches les plus remarquables sont enregistrées de Janvier à Mars sur la rivière Lobo à Loboville et sur le fleuve Sassandra à Piébli puis de Janvier à Avril sur la rivière N'Zo à Kahin. Sur les deux normales (1971 - 2000 et 1981 - 2010), les écoulements restent sensiblement de même intensité sur les périodes de mi-October à Juillet à Piébli, de Novembre à Mars à Loboville et d'October à Juin à Kahin. Sur les intervalles restants, il y a une alternance en abondance hydrologique entre les deux normales. La valeur maximale de l'indice *IHN* est atteinte en Septembre à Kahin et Piébli simultanément, puis en October à Loboville. A l'échelle annuelle, les sécheresses sont de type modéré à Kahin (-1) en 1975, à Piébli (-1,2) en 1983 et sévère à Loboville (-1,9) en 1992. Les sécheresses hydrologiques sont observées sur le N'Zo à Kahin sur la période 1978-1987, sur le Sassandra à Piébli sur la période 1980-1993 et sur la Lobo à Loboville sur la période 1988-1993.

3-2-2. Durée et la fréquence de la sécheresse hydrologique

La durée maximale des épisodes de sécheresse hydrologique et la fréquence des séquences sèches varient d'une zone climatique à l'autre autant à l'échelle annuelle que mensuelle (*Tableau 3*). Aux stations hydrologiques de Piébli et Kahin, l'échelle annuelle montre que les occurrences cumulées des séquences sèches sont identiques, bien que la durée maximale de la sécheresse soit plus importante à Piébli. Cela signale l'interruption moins fréquente des saisons sèches à Piébli A l'échelle mensuelle, la durée maximale de la sécheresse hydrologique observée à Loboville surpasse celles de Piébli et Kahin. Ces deux dernières stations présentent sensiblement les mêmes caractères dans l'année.

Tableau 3 : Durée maximale et Fréquence cumulée de la sécheresse hydrologique

Paramètres	Piébli (le Sassandra)	Loboville (la Lobo)	Kahin (le N'Zo)
Echelle annuelle			
Durée maximale (années)	1980-1993 (14 ans)	1988 - 1994 (7 ans)	1978 - 1987 (10 ans)
Fréquence cumulée (%)	65 %	60 %	65 %
Echelle mensuelle			
Durée maximale (mois)	Novembre - Juin	mi-Novembre - Juillet	Novembre - Juin
Fréquence cumulée (%)	66,67 %	70,83 %	66,67 %

3-2-3. Normales, décennales hydrologiques

L'analyse des normales hydrologiques montrent que les deux normales 1971-2000 et 1981-2010 évoluent simultanément sous les trois régimes climatiques. Ils atteignent leur pic en Octobre à Loboville, en Septembre à Kahin et à Piébli (*Tableau 4*). Sur les trois stations, de la première à la deuxième normale, on note une décroissance du maximum de l'intensité de la sécheresse hydrologique. De plus, pour une station donnée, ces maximums relatifs aux normales apparaissent dans le même mois. Sur chacune des quatre décennies, la variation hydrologique mensuelle indique globalement un regain des écoulements avec le pic situé en Septembre sous les trois régimes climatiques. A Kahin, le débit maximal passe de 214 m³/s à 455 m³/s de la décennie 1971 - 1980 à 2001 - 2010, soit une hausse hydrologique de 52,97 % en trois décennies. A Loboville, il passe de 50 m³/s à 155 m³/s de la décennie 1971 - 1980 à 2001 - 2010, soit une augmentation de 64,52 % en trois décennies. A Piébli, il passe de 700 m³/s à 1057 m³/s de la décennie 1981-1990 à 2001 - 2010, soit une croissance de 33,77 % en deux décennies.

Tableau 4 : Caractéristiques des normales hydrologiques par régime climatique

		Normale 1971-2000	Normale 1981 - 2010
Piébli (le Sassandra)	Valeur max du pic (m ³ /s)	773	862
	Mois du pic	Septembre	Septembre
Loboville (la Lobo)	Valeur max du pic (m ³ /s)	70	105
	Mois du pic	Octobre	Octobre
Kahin (le N'Zo)	Valeur max du pic (m ³ /s)	239	320
	Mois du pic	Septembre	Septembre

3-3. Impact de la variabilité du climat sur les écoulements

3-3-1. Analyse des écoulements issus des trois zones climatiques

La variation mensuelle des lames d'eau montre que le N'Zo à Kahin et le Sassandra à Piébli atteignent leur maximum en Septembre avec des valeurs maximales respectivement de 192 mm et 88,3 mm. Quant à la

rivière Lobo, elle atteint son maximum en Octobre avec une valeur de 22,2 mm. Les crues sur ces trois cours d'eau commencent d'abord sur la rivière N'Zo en Avril, ensuite sur le fleuve Sassandra (cours d'eau principal) en Mai et enfin sur la rivière Lobo en mi-Mai. Globalement, l'année hydrologique démarre sur le bassin versant en Avril et prend fin en Janvier. Les écoulements atteignent leur bas niveau de Février à Mars (*Figure 2*).

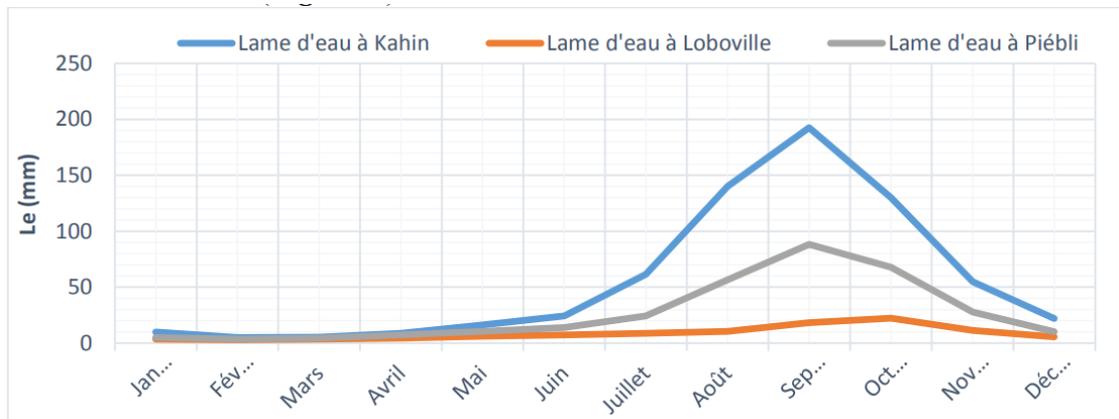


Figure 2 : Évolution de la lame d'eau mensuelle sur la période 1971 - 2010

3-3-2. Impact de la variabilité des normales et décennales pluviométriques sur les écoulements

Par un rapprochement graphique entre la pluie et le débit suivant les normales (*Figure 3*), l'allure mensuelle des pluies correspond à celle des débits pour le Sassandra à Piébli et le N'Zo. Cependant, le décalage de leurs maximums (pluie en août et débit en septembre) indique un retard d'un mois de la réponse hydrologique. Alors que la croissance saisonnière du débit maximal de N'Zo provient de l'importance de la pluviométrie maximale sur son bassin, celle de Sassandra à Piébli est consécutive à une baisse de pluie maximale. Cela revêt l'influence d'un facteur nouveau sur son bassin. Face à un caractère fluctuant de la pluviométrie mensuelle sur son bassin, la Lobo a un débit qui évolue non linéairement. De la normale 1971 - 2000 à la normale 1981 - 2010, la quantité de pluie reste sensiblement constante alors que le débit décroît de Décembre à Juin puis croît de Juillet à Novembre. Aussi, un mois de décalage des pics s'observe-t-il (pluie en Septembre et débit en Octobre) avec une augmentation de débit uniquement. Celle-ci traduit la modification des paramètres du bassin de la Lobo de la période 1971 - 2000 à 1981 - 2010.



Figure 3 : Impact de la pluie sur les écoulements selon les normales

A l'échelle décennale (*Figure 4*), on note une supériorité remarquable du débit de 2001 - 2010, de Juillet à Novembre sous les trois régimes climatiques, malgré l'absence d'une décennie pluviométrique dominante. Les allures des pluies et celles des débits sont globalement identiques dans une même zone climatique. Considérant leurs maximums, le décalage (un mois) de la réaction hydrologique est similaire à celui observé avec les normales. Sur chacun des trois bassins, l'ordre croissant des débits décennaux ne correspond pas à celui des pluies. Ce manque de linéarité annonce le caractère aléatoire des débits à l'échelle décennale.

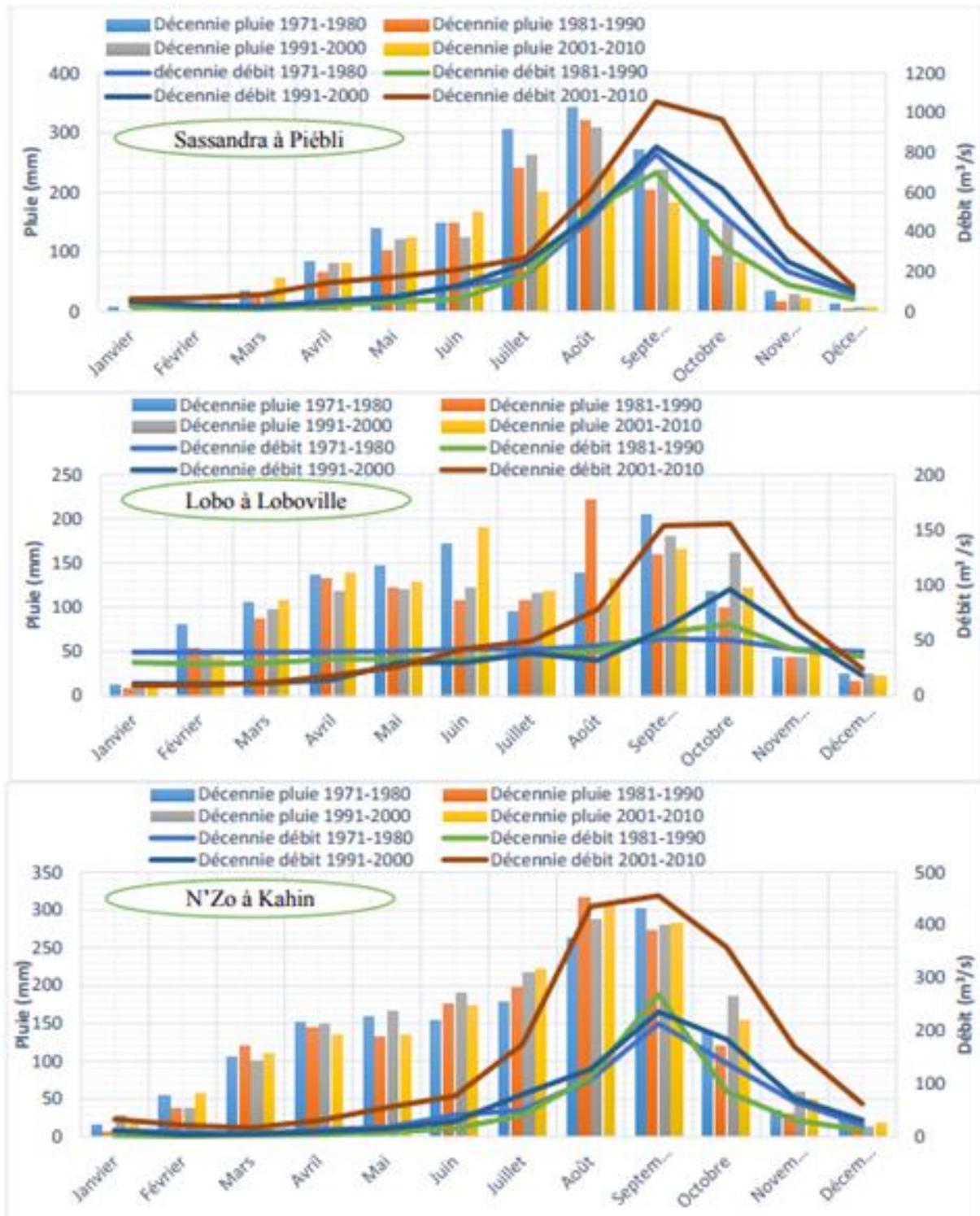


Figure 4 : Influence décennale du climat sur le débit dans les décennies

3-3-3. Estimation de la stabilité du processus de formation de l'écoulement

Sous l'influence climatique, seules les débits moyens \bar{Q} du Sassandra et du N'Zo sont stables sur la période 1971 - 2010. Cependant, la Lobo reste totalement instable suivant les trois moments statistiques principaux qui caractérisent la densité de probabilité d'apparition du débit (**Tableau 5**). Ce résultat est la confirmation de son irrégularité pluviométrique et hydrologique constatée par l'analyse des normales et décennales.

Tableau 5 : Valeurs de β (critère de stabilité) par zone climatique

	Odienné (le Sassandra)	Daloa (la Lobo)	Man (le N'Zo)
β	1,74	1,83	1,51
Positionnement	$1 \leq \beta < 1,8$	$1,8 \leq \beta$	$1 \leq \beta < 1,8$
Coefficient trouvé stable	\bar{Q}	aucun	\bar{Q}
Coefficient instable	C_V et C_S	\bar{Q} , C_V et C_S	C_V et C_S

4. Discussion

L'analyse de *SPI* mensuelle et annuel des trois régimes climatiques du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré, a révélé que celui-ci a connu un important déficit pluviométrique après 1970. Des séquences sévèrement sèches sont caractérisées par des pics de -1,7 en 2004 ; -1,6 en 2001 et -1,9 en 1983 respectivement à Odienné, Daloa et Man. Aussi, de 1971 à 2010 leurs proportions d'années de sécheresse sont 47,50 % ; 55,00 % et 60,00 %. Ces résultats s'accordent avec ceux des recherches effectuées en Afrique de l'Ouest [5, 21, 22]. Ils sont aussi confirmés par les travaux menés sur le bassin versant de la Falémé au Sénégal [23] et celui du fleuve Sénégal [24]. Ces deux travaux ont montré que les décennies 1970, 1980 et 1990 ont été des périodes sèches marquées par un fort déficit pluviométrique. Les classes de pluie P_1 (1 à 10 mm) et P_2 (10 à 30 mm) constituent l'essentiel de la pluviométrie sur les trois régions du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré. Le mois d'Août est le plus pluvieux sous les trois régimes climatiques. L'analyse des *IHN* a révélé que le bassin versant du Sassandra a connu un important déficit hydrologique après 1970 caractérisé par des sécheresses de types modéré à Piébli et Kahin puis sévère à Loboville, avec des pics de -1,2 en 1983 ; -1,9 en 1992 et -1 en 1975 respectivement sur le Sassandra à Piébli, la Lobo à Loboville et le N'Zo à Kahin. Les recherches effectuées en Afrique de l'Ouest dans le bassin du Bafing, le confirment [17]. Aussi, il est démontré que de 1970 à 1993, le ruissellement annuel a connu une baisse générale sur l'ensemble du bassin du Sassandra, cette période est globalement déficitaire [15]. D'après les résultats de l'étude menée sur les ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man, la sécheresse qu'a connue l'Afrique de l'Ouest dans les années 1980 a entraîné la baisse de niveau des retenus d'eau [25]. Des trois zones climatiques, le climat équatorial de transition atténué a la plus courte durée annuelle (7 ans) de sécheresse hydrologique. L'analyse suivant les normales et les décennies indique une recrudescence des écoulements sur les trois bassins versants. En effet, les écoulements de la normale 1981 - 2010 sont plus importants que ceux de la normale 1971-2000. Les variations décennales montrent également une croissance mais non linéaire. La cause de cette hausse de débits est l'augmentation de la pluviométrie au cours des dernières décennies. La tendance à la croissance de l'écoulement sur les bassins en Afrique de l'Ouest a aussi été mise en évidence par les travaux de plusieurs auteurs par utilisation de modèles pluie-débit [13, 26]. Il convient de noter que cette recrudescence des écoulements serait liée à la mise à nu des sols du bassin [27]. En effet, selon ces auteurs, la réduction de la couverture végétale fait augmenter les lames d'eau écoulées sur les bassins versants. Sous la variation pluviométrique, les trois réponses hydrologiques montrent que le temps de concentration maximal des eaux à l'exutoire des bassins versants est atteint un mois après le mois le plus pluvieux. Aussi, la non-linéarité sus-indiquée et l'instabilité totale des coefficients de variation et d'asymétrie sont confirmées par les travaux menés sur la zone ouest africaine [30]. Ce résultat qualifie d'aléatoire le régime hydrologique du fleuve Sassandra.

5. Conclusion

L'analyse de l'impact de la variabilité pluviométrique sur la réponse hydrologique a nécessité la caractérisation des régimes pluviométrique et hydrologique du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré. Trois sous-bassins versants (le fleuve Sassandra à Piébli, la rivière Lobo à Loboville et la rivière N'Zo à Kahin) influencés par divers climats, apportent différentes contributions à leur régimes hydrologiques. En effet, les lames d'eau maximales précipitées sont respectivement de 88,3 mm, 22,2 mm et 192 mm sous une sécheresse pluviométrique de types sévères à l'échelle annuelle. Aussi, contrairement au fleuve Sassandra à Piébli et la rivière N'Zo à Kahin, le débit de la rivière Lobo à Loboville n'a pas une allure linéaire à celle de la pluie correspondante. Le décalage des maximums (pluie en août et débit en septembre) indique un retard d'un mois de la réponse hydrologique du Sassandra à Soubré. Cette somme de perturbation hydroclimatique est mise en évidence par l'instabilité des séries de débits suivant les coefficients de variation et d'asymétrie sur la période 1971 - 2010.

Références

- [1] - GIEC, Résumé à l'intention des décideurs, In : "Changements climatiques" : Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation (AR4) du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, (2007) 2 - 22
- [2] - E. A. MBALAMONA, Impact des changements climatiques sur l'agriculture et l'environnement dans le bassin du Congo. 7^{ème} Conférence Africaine sur la Population, Johannesburg (Afrique du Sud), 30 Novembre - 4 décembre (2015)
- [3] - Z. A. KOUADIO, K. E. KOUAKOU, A. B. KONAN-WAIDHET, B. T. A. GOULA et I. SAVANE, Modélisation du comportement hydrologique du bassin versant du Boubo en milieu tropical humide de la Côte d'Ivoire par l'application du modèle hydrologique distribué CEQUEAU, *Afrique SCIENCE*, 11 (3) (2015) 82 - 100
- [4] - S. BIGOT, Y. T. BROU, J. OSZWAID, A. DIEDHIOU, Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse*, 16 (1) (2005) 5 - 13
- [5] - M. K. AMANI, F. K. KOFFI, B. K. YAO, B. D. KOUAKOU, E. P. JEAN et O. SEKOUBA, Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, *Cybergeo : European Journal of Geography*, 513 (2010) 2 - 7
- [6] - B. S. ARDOIN, "Variabilité hydro climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassin hydrographiques en zone soudano-sahélienne", Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II (France), (2004) 440 p.
- [7] - B. T. A. GOULA, F. W. KOUASSI, V. FADIKA, K. E. KOUAKOU, G. B. KOUADIO, K. KOFFI, B. KAMAGATE, J. DOUMOUYA et I. SAVANE, Impacts du changement et de la variabilité climatique sur les eaux souterraines en zone tropicale humide : Cas de la Côte d'Ivoire, *IAHS Publ*, 334 (2009) 190 - 202
- [8] - G. MAHE et J. C. OLIVRY, Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale de 1951 à 1989, *Sécheresse*, 6 (1) (1995) 109 - 117
- [9] - M. SANE, S. SAMBOU, D. M. NDIONE, I. LEYE, S. KANE et M. L. BADJI, Analyse et traitement des séries de débits annuels et mensuels sur le fleuve Sénégal en amont du barrage de Manantali : Cas des stations de Bafing Makana et Dakka Saidou, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 30 (2017) 102 - 120
- [10] - R. M. N. FOSSOU, E. G. SORO, S. DOSSO et L. D. GONE, Variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'ouest : cas de la région du N'Zi au centre-est de la Côte d'Ivoire, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, (36) (2020) 171 - 192

- [11] - H. CAMUS, Hydrologie du bassin du Sassandra, Adiopodoumé : *ORSTOM*, (1969) 61 p.
- [12] - G. GIRARD, J. SIRCOULON et P. TOUCHEBEUF, Aperçu sur les régimes hydrologiques de Côte d'Ivoire, Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, (1970) 56 p.
- [13] - K. E. KOUAKOU, "Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : Cas du bassin versant de la Comoé", Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), (2011) 186 p.
- [14] - A. B. YAO, "Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), (2015) 192 p.
- [15] - S. A. LIDEHI, Y. A. N'GO, G. E. SORO et T. A. GOULA, Approche statistique d'évaluation de la dynamique des débits du bassin versant du Sassandra dans un contexte de changement climatique et de modifications physiques du milieu, *REV. RAMRES*, 10 (01) (2022) 29 - 37
- [16] - I. JOUILIL, K. BITAR, H. SALAMA, I. AMRAOU, A. MOKSSIT et M. TAHIRI, Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er RBIA durant les dernières décennies, *Larhyss. J.*, 12 (2013) 109 - 127
- [17] - C. FAYE, A. N'DIAYE & I. M'BAYE, Une évaluation comparative des séquences du stress hydrique et de la sécheresse par indicateurs et par échelles de temps dans le bassin du Bafing en amont de Manantali, *Journal of Water and Environmental Sciences*, 1 (1) (2017) 11 - 28
- [18] - E. SERVAT, J. E. PATUREL, B. KOUAME, M. TRAVAGLIO, M. OUEDRAOGO, J. F. BOYER, H. LUBES-NIEL, J. M. FRITSCH, J. M. MASSON et B. MARIEU, Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale, *IAHS Publication*, 252 (1998) 323 - 337
- [19] - F. BAMBA, G. MAHE, J. P. BRICQUET et J. C. OLIVRY. Changements climatiques et variabilité des ressources en eau des bassins du haut Niger et de la cuvette lacustre, XII èmes journées hydrologiques de l'orstom, Montpellier, (1996) 27 p.
- [20] - V. V. KOVALENKO, N. V. VIKTOROVA, E. V. GAJDUKOVA, Modélisation des processus hydrologiques, Deuxième Edition, Manuel corrigé et complété. — St-Peter : Edition UEHMR, (2006) 559 p.
- [21] - B. T. A. GOULA, I. SAVANE, B. KONAN, B. FADIKA et G. B. KOUADIO, Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide), *Vertigo*, 7 (1) (2006) 12
- [22] - G. E. SORO, G. L. ANOUMAN, B. T. A. GOULA, B. SHROHOROU et I. SAVANE, Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique a diverses échelles de temps en climat de type soudanais : cas de l'extrême Nord-ouest de la cote d'ivoire, *Larhyss J.*, 18 (2014) 107 - 124
- [23] - C. FAYE, "Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans un contexte de variabilité hydro climatique : cas du bassin versant de la Falémé", Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), (2013) 309 p.
- [24] - C. FAYE, A. A. SOW et J. B. N'DONG, Étude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sècheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal, *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 9 (2015) 17 - 35
- [25] - I. SAVANÉ, K. M. COULIBALY et P. GIOAN, Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man, *Sécheresse*, 12 (4) (2001) 231 - 237
- [26] - M. OUEDRAOGO, E. SERVAT, J. E. PATUREL, H. LUBES-NIEL et J. M. MASSON, Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit autour des années 1970 en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne, *IAHS Publication*, 252 (1998) 315 - 321
- [27] - C. COSANDEY, C. MARTIN et J. F. DIDON-LESCOT, Forêt et écoulements : étude d'une coupe forestière sur le bilan d'écoulement annuel, les crues et les étiages, Rapport sectoriel pour le rapport final du contrat européen FOREX, (2000) 34 p.

- [28] - V. ANDREASSIAN et J. LAVABRE, Relations entre le couvert forestier et le comportement hydrologique à l'échelle du bassin versant, *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 88 (7) (2002) 97 - 98
- [29] - S. Y. SCHREIDER, Detecting changes in streamflow response to changes in non-climatic catchment conditions : farm dam development in the Murray- Darling basin, Australia, *Journal of Hydrology*, 262 (1-4) (2002) 84 - 98
- [30] - B. G. A. KOUASSI, "Diagnostic fractal de l'écoulement annuel des cours d'eau de l'Afrique de l'ouest", Thèse de Doctorat, Université d'Etat hydro météorologique de Russie (Saint-Pétersbourg), (2008) 151 p.