

Analyse De La Relation Pluie-Débit Dans Un Contexte De Variabilité Climatique Dans La Région De Katiola

Adiaffi B.¹, Wango T.E.², Gnamba F.M.³, Kpan O.J.G.¹, Baka D.¹

¹Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Département de Géosciences Marines, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

³Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques, Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

Abstract: In Ivory Coast, climate change observed impacted river flows and change rainfall-runoff relationship. Katiola area located on the watershed of the Bandama river, is affected by the effects of climate change and it impacts on water resources. The aim of this work is to study the rain off-runoff relationship in katiola area, in a climate variability context. We use as methods hydro-climatic index of Nicholson, order 2 low-pass, of Hanning to analyse rainfall and characterise climate variability. The simple relationship between rainfall and flow was studied through graphs connecting the water sheet to the runoff. The results showed a temporal rainfall variability in the chronic studied. Two great periods are visible from the analysis, a wet period (from 1949 to 1970) and a dry period (from 1971 to 2000). Analysis of the rainfall-runoff relationship showed a synchronous trend of the annual mean runoff fluctuation and the annual mean rainfall fluctuation.

Keywords: Climate variability, Rainfall-Runoff relation, Bandama, Katiola, Côte d'Ivoire

I. Introduction

Les changements climatiques liés au réchauffement global ont été largement médiatisés au cours de ces dernières décennies. En effet, les questions de changements et de variabilités climatiques sont placées, au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde, en raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme [1]. Les études menées dans certaines régions de la Côte d'Ivoire montrent l'importance des changements climatiques marquée par une tendance à la sécheresse qui s'est manifestée à partir du début de la décennie 1970 [2, 3, 4, 5, 6]. Les fluctuations pluviométriques observées sur les bassins versants se sont en effet produites sur plusieurs années consécutives. Ces changements climatiques ont engendré une baisse des débits des cours d'eau. En outre, les changements climatiques couplés aux modifications de l'occupation du sol soulèvent des questions de développement, notamment en ce qui concerne la disponibilité des ressources en eau [7]. Certains auteurs ont montré que les changements climatiques liés à la dynamique de l'occupation du sol ont eu, entre autres pour impact, la modification de la relation pluie-débit [8, 9]. Les travaux de [6] ont montré une tendance synchrone dans la relation pluie-débit dans la Sud côtier de la Côte d'Ivoire. Ce qui témoigne que la réponse hydrologique d'un bassin est influencée par la pluviosité (répartition spatiale et temporelle des précipitations, intensité et durée). Toutes ces études réalisées s'inscrivent dans la perspective d'une bonne maîtrise de la gestion des ressources en eau, par la compréhension dans le temps et dans l'espace des processus hydrologiques très complexes. C'est donc dans l'optique de comprendre la tendance dans la relation pluie-débit en région de savane soudanaise que la présente étude a été entreprise. L'objectif de ces travaux est d'étudier la tendance dans la relation pluie-débit dans la région de Katiola dans un contexte de variabilité climatique, au regard de l'importance socio-économique que revêt cette zone. Elle abrite de nombreux complexes sucriers et vivriers, de grandes plantations de coton et d'anacarde. La méthodologie adoptée n'est pas basée sur les modèles conceptuels, mais sur une analyse de la tendance d'évolution à partir d'un graphe cartésien reliant les données de pluie et de débit sur une chronique de près de 50 ans.

II. Cadre D'étude Et Contexte Géologique

La région de Katiola est située à 434 km d'Abidjan au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. Elle est comprise entre les longitudes 4°75 et 5°75 Ouest et les latitudes 7°95 et 9°45 Nord (Fig. 1). Elle s'étend sur une superficie de 9452 km² soit environ 3% de la superficie totale du territoire avec une population estimée à 165652 habitants [10]. Le contexte climatique de la région dérive de l'interface entre climat soudanien et guinéen. Le climat guinéen se rencontre au sud, tandis que le climat soudanais, s'observerait davantage au Nord. Il existe dans la région un contraste interannuel des saisons lié au mouvement de la zone de convergence intertropical dont

l'avancée vers le nord est variable d'une saison à l'autre [11]. La région est drainée par deux principaux fleuves et leurs affluents qui constitue des limites naturelles du département, le Bandama à l'Ouest et le N'Zi à l'Est.

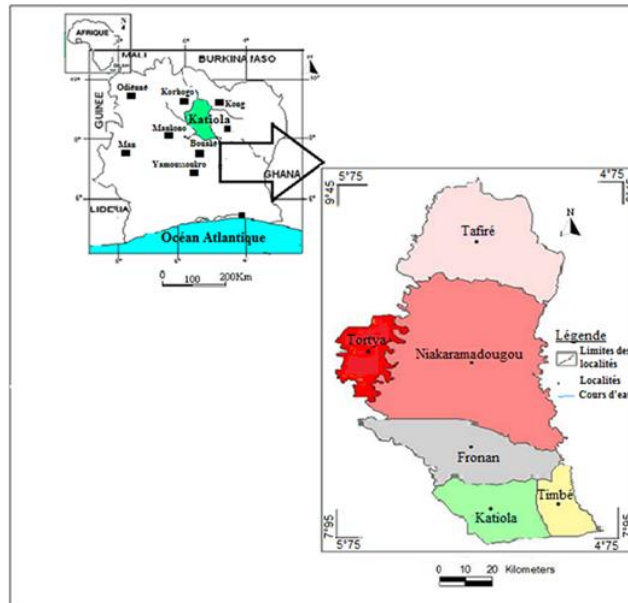


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Au plan géologique, la région se situe dans le domaine Baoulé-Mossi et est constituée d'une diversité de formation birimienies dont les principales sont : des granitoïdes calco-alcalins et alumino-potassiques (granites à deux micas), des métavulcanites, des roches vertes, et des métasédiments [12]. Les formations cristallines se composent essentiellement de migmatites et granites indifférenciés, de gneiss ainsi que de granites syntardi-tectoniques recoupant des séquences volcano-sédimentaires dans la majeure partie du département de Katiola (Fig. 2). Du point de vue hydrogéologique, ces différentes formations, à l'état sain, présentent une porosité et une perméabilité très faibles. Cependant, les phénomènes tectoniques et physico-chimiques qui affectent ces roches induisent une porosité et une perméabilité dites secondaires, permettant à ces formations de devenir des aquifères souvent de grande productivité. On note la présence de trois types d'aquifères ; les aquifères d'altérites, les aquifères de fissures et les aquifères de fractures.

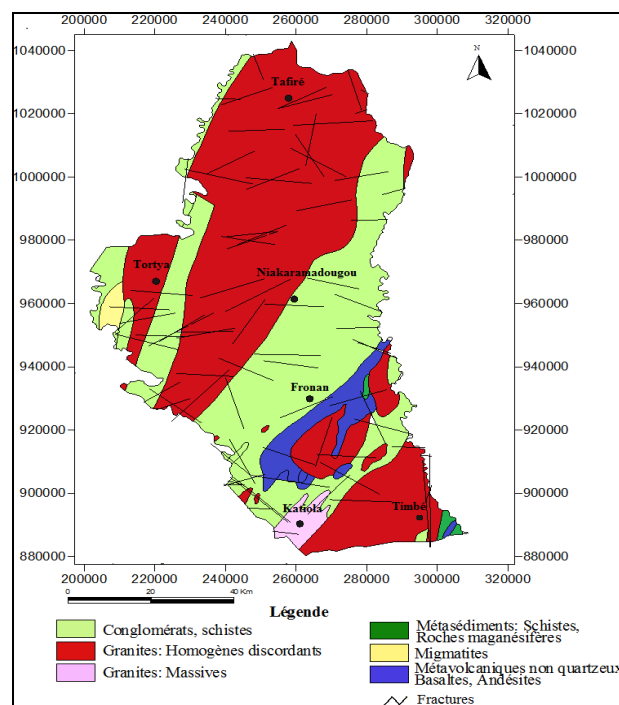


Figure 2 : Carte géologique de la région de Katiola

III. Données Et Méthodes

3.1. Données

Les données climatologiques utilisées proviennent de la station de Katiola et correspondent à des données pluviométriques mensuelles. La chronique des précipitations en mm va de 1949 à 2000, soit 51 ans. Elles ont été mises à notre disposition par la Société de Développement et d'Exploitation Aéroportuaire et Maritime (SODEXAM).

En ce qui concerne les données hydrologiques, il s'agit de données de débits journaliers en m³ allant de 1954 à 2000, recueillis sur le fleuve Bandama dans la région de Katiola.

3.2. Méthodes

3.2.1. Analyse de la pluviométrie et variabilité climatique

Le calcul de l'indice hydroclimatique moyen a permis d'analyser la variabilité temporelle des précipitations de la zone d'étude. L'indice moyen est donné par la formule de [13].

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

P_m représente le module pluviométrique interannuel pendant la période d'enregistrement exprimée en millimètre (mm) ;

P_i , étant la hauteur totale de pluie au cours de l'année i exprimée en millimètre (mm) et σ_i est l'écart-type de la pluviométrie annuelle.

La méthode du filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, appelée aussi « moyennes mobiles pondérées », permettant d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique a donc été utilisée. Le calcul de ce filtre a été effectué au moyen de l'équation 2 de [14] qui permettent d'estimer chaque terme de la série :

$$X_t = 0,06x_{t-2} + 0,25x_{t-1} + 0,38x_t + 0,25x_{t+1} + 0,06x_{t+2} \text{ pour } 3 \leq t \leq (n-2) \quad (2)$$

Avec $X_{(t)}$: le total pluviométrique pondéré du terme t .

$x_{(t-2)}$ et $x_{(t-1)}$: les totaux pluviométriques observés des deux termes qui précèdent immédiatement le terme t .

Les totaux pluviométriques pondérés des deux premiers termes [$X_{(1)}$, $X_{(2)}$], et des deux derniers termes [$X_{(n-1)}$, $X_{(n)}$] sont calculés au moyen des expressions suivantes (n étant la taille de la série).

$$X_1 = 0,54x_1 + 0,46x_2 \quad (3)$$

$$X_2 = 0,25x_1 + 0,5x_2 + 0,25x_3 \quad (4)$$

$$X_{(n-1)} = 0,25x_{(n-2)} + 0,5x_{(n-1)} + 0,25x_n \quad (5)$$

$$X_n = 0,54x_n + 0,46x_{(n-1)} \quad (6)$$

Pour mieux visualiser les périodes de déficit et d'excédent pluviométrique les moyennes mobiles ont été centrées et réduites au moyen de la formule (7) suivante :

$$Y_t = \frac{(X(t) - m)}{\sigma} \quad (7)$$

Où m est la moyenne de la série des moyennes pondérées et σ est l'écart type de la série des moyennes mobiles pondérées.

3.2.2. Analyse de la relation pluie-débit

L'analyse de l'évolution interannuelle des débits moyens journaliers et des fluctuations moyennes annuelles des débits, en relation avec celles des précipitations pendant la chronique d'étude (1954 à 2000) ont été mises en évidence à partir de graphes cartésiens sur Excel.

IV. Résultat

4.1. Indice pluviométrique Mensuelle

L'analyse de la courbe de variation de l'indice pluviométrique met en évidence l'existence de deux grandes périodes : une période humide et une période sèche (Fig. 3).

- la période de 1949 à 1970 (21 ans) correspond à une période humide avec des valeurs de l'indice pluviométrique relativement élevées. Cette période se caractérise aussi par une pluviométrie annuelle supérieure à celle du module pluviométrique interannuel calculé sur les 51 ans. La tranche 1965-1969 est la plus arrosée de cette période relativement humide.

- la période de 1971 à 2000 (29 ans) caractérisée par une fréquence élevée de périodes très sèches relativement longues (huit années consécutives). Cette période est globalement sèche avec les indices pluviométriques les plus négatifs. La période 1981-1988 constitue la tranche la plus sèche. Elle comporte néanmoins des années humides : 1979-1980 et 1995-1996. Une courte période intermédiaire (dite période normale) est cependant identifiable entre ces deux tranches. Elle s'étale de 1969 à 1979. Elle est caractérisée par une alternance régulière d'années sèches et humides dont la tendance générale correspondrait à une période normale, et où les indices sont proches de 0.

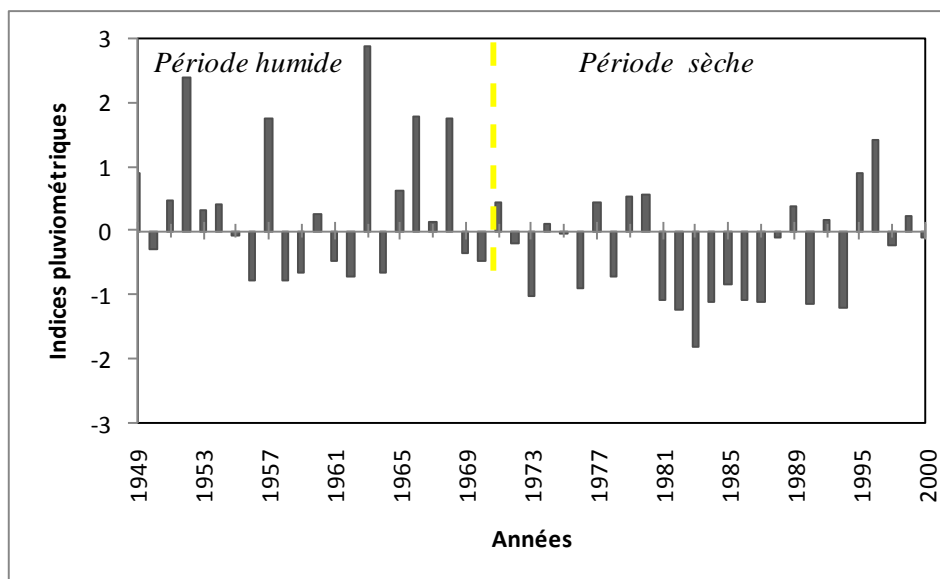


Figure 3 : Indices pluviométriques annuelles de Nicholson à la station de Katiola (1949-2000)

4.2. Méthode du filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2

La méthode du filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, appelée aussi « moyennes mobiles pondérées », permettant d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique a donc été utilisée (Fig. 4). Ce graphe permet de mieux faire ressortir les différentes périodes humides (1949 - 1970) et sèches (1971 - 2000) décrites plus haut dans la région de Katiola par une atténuation de la fluctuation de l'indice pluviométrique. Ainsi, la petite période normale identifiée par l'analyse de l'indice de Nicholson n'est en réalité qu'une période à tendance sèche. Elle se caractérise par des indices pluviométriques négatifs entre 1969 et 1973. Cette période correspond à la première grande sécheresse en Afrique de l'Ouest. Au cours de cette grande période sèche (1971 - 2000), des années particulièrement très sèches sont mises en évidence sur la figure 4, de 1981 à 1989. Le caractère déficitaire de la pluviométrie à cette période est marqué par les indices pluviométriques les plus négatifs. La pluviométrie est donc marquée par un déficit dans la région de Katiola au cours cette décennie.

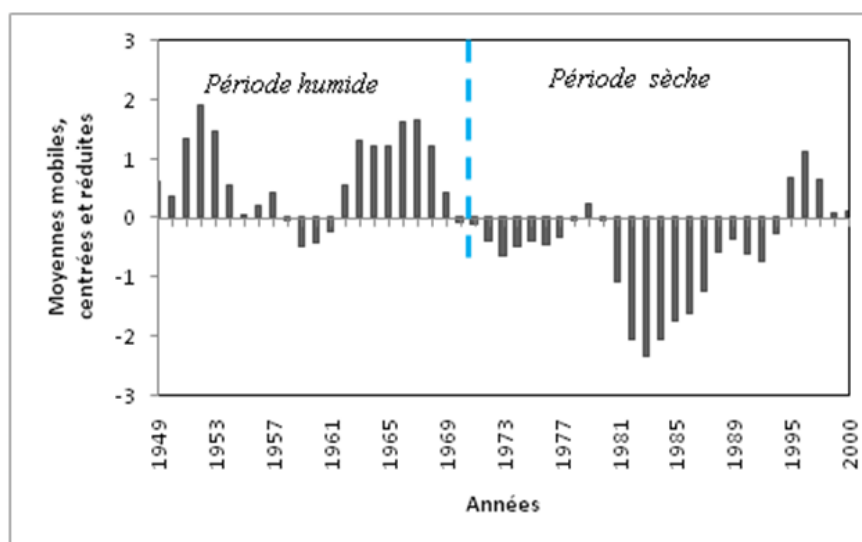


Figure 4 : Variations interannuelles des moyennes mobiles pondérées à la station de Katiola (1949-2000).

4.3. Analyse du régime des cours d'eau

L'analyse du graphe de la variation annuelle des débits durant la période 1954 à 2000 indique une baisse générale du régime du cours d'eau (Fig. 5). L'observation dans le détail du graphe montre deux tendances évolutives. De 1954 à 1971, on note une tendance à la hausse du régime hydrologique. A partir de 1971, on note une baisse quasi-régulière des débits écoulés jusqu'en 2000. Notons que cette baisse des débits d'écoulement

coïncide avec la rupture régionale dans la série des pluies annuelles qui a frappé l'Afrique de l'Ouest en général et la Côte d'Ivoire en particulier au cours des années 1970

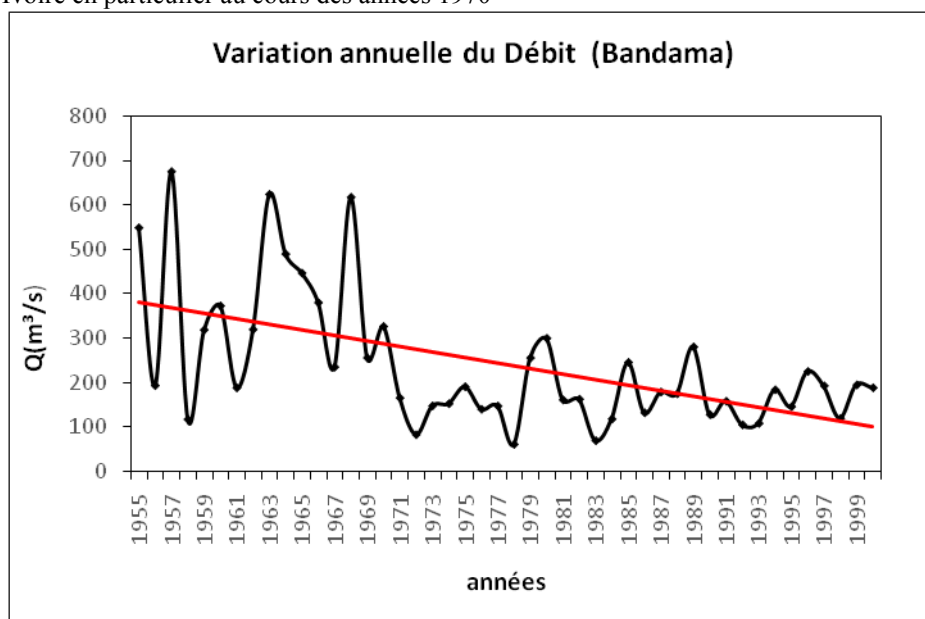


Figure 5 : Variation annuelle du débit du Bandama (1954-2000)

L'évolution interannuelle des débits moyens journaliers sur le fleuve Bandama est illustrée par la figure 6. L'évolution se décompose en une seule phase de crue de longue durée et une phase de décrue (étiage) de courte durée. La phase de crue s'étend du 11 mars au 03 octobre. Elle est marquée par un débit journalier moyen optimum ou débit de pointe de 879,89 m³/s. La phase de décrue, exprimant un tarissement, commence en septembre après la production de la pointe de crue pour prendre fin le 11 mars avec un débit journalier moyen de 64,12 m³/s.

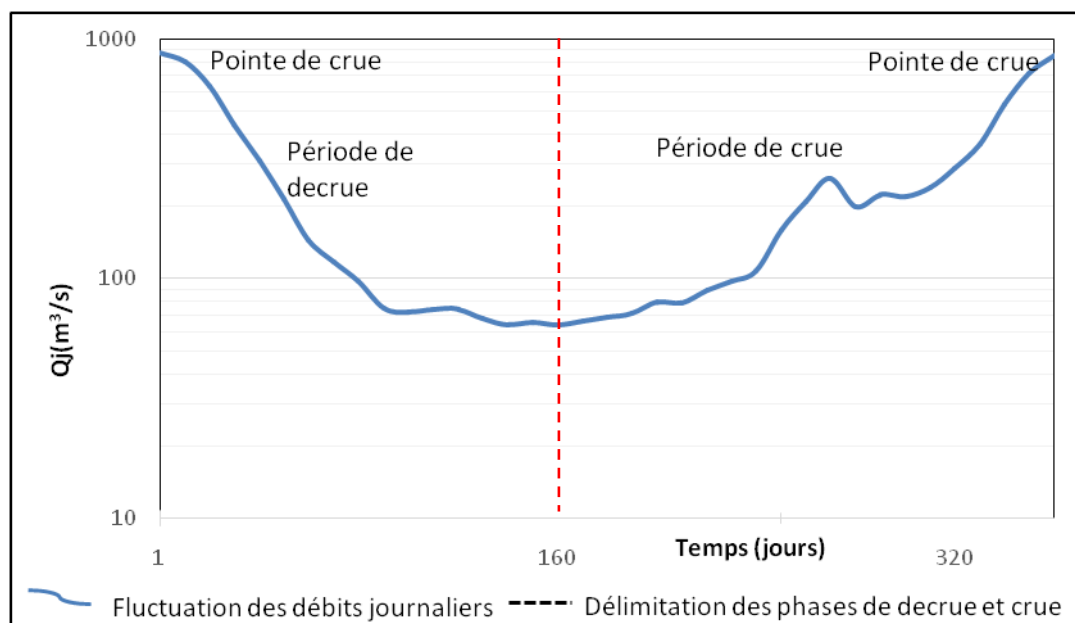


Figure 6 : Fluctuation des débits moyens journaliers interannuels (1954-2000)

4.4. Analyse de la relation pluie-débit

La fluctuation moyenne annuelle des débits (lame d'eau écoulée) couplée à celle des précipitations moyennes annuelles sur la chronique commune aux données hydrométriques et pluviométriques, c'est-à-dire la période 1954-2000 est illustrée par le graphe de la figure 7. À l'analyse de ce graphe, une tendance synchrone se dégage de l'analyse de la fluctuation des pluies (lame d'eau précipitée) et des débits (lame d'eau écoulée) sur le sur toute la chronique d'étude. Cette tendance synchrone de la relation entre la pluviométrie et les débits est

exprimée par l'augmentation des débits en période de pluviométrie excédentaire et par la baisse des débits en période de déficit pluviométrique.

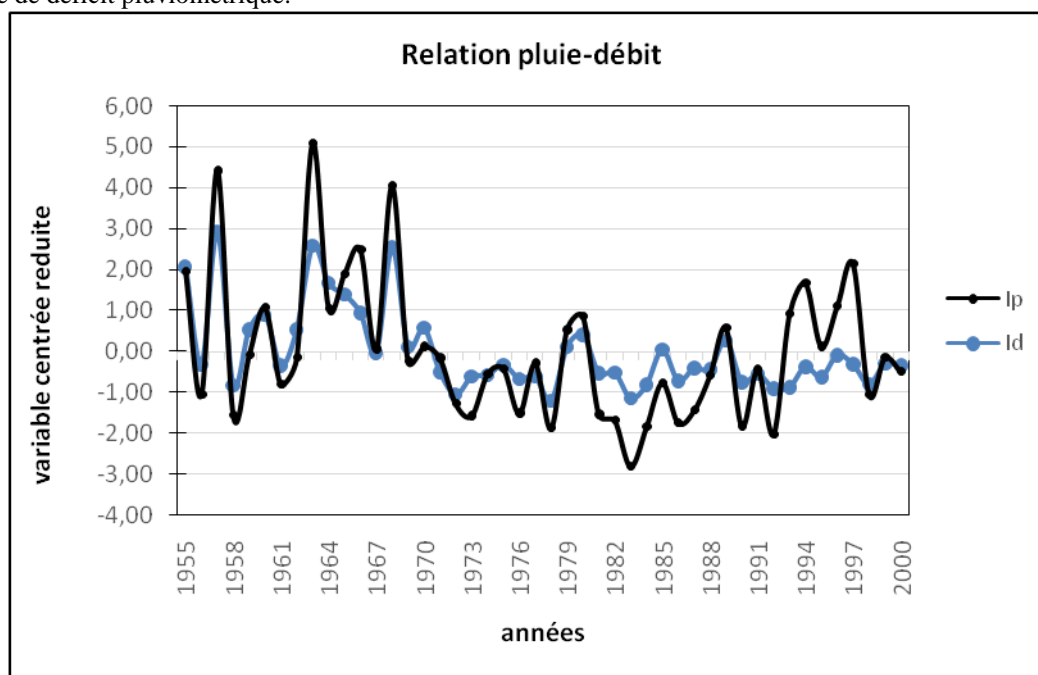


Figure 7 : Analyse de la tendance d'évolution de la relation pluie-débit à Katiola de 1954 à 2000

V. Discussion

L'étude de la pluviométrie a permis de mettre en évidence l'existence d'une variabilité temporelle des précipitations durant la chronique d'étude. Deux grandes périodes se dégagent de l'étude, une période humide (1949 à 1970) et une période sèche (1971 à 2000). De même, l'analyse des séries pluviométriques annuelles montrent une alternance de périodes humides et sèches en général en Afrique de l'Ouest [15] et en Côte d'Ivoire en particulier [16] et [17]. Ces résultats confirment donc la tendance à la baisse des précipitations constatée en Afrique de l'Ouest et particulièrement en Côte d'Ivoire comme soulignés par [18], [19, 20], [21], [22] et [23, 24]. Cette rupture bien marquée entre 1970 et 1989 souligne que cette partie de la Côte d'Ivoire a fortement ressenti la rupture régionale dans la série des pluies annuelles qui a frappé l'Afrique de l'Ouest au cours des années 1970 [25]. Les bassins versants du département de Katiola ont donc enregistré une diminution de quantité d'eau précipitée depuis la fin des années 1960. Cela se caractérise aussi par une diminution des apports en eau de surface. La production hydroélectrique, l'agriculture et l'alimentation en eau potable se trouvent menacées par cette diminution de la pluviométrie qui dure depuis plus de quarante ans [25]. Cependant on peut, souligner une légère reprise de la pluviométrie vers la fin des années 80, marqué par un pic de plus de 1100 mm de pluies entre 1990 et 2000. Cette légère reprise de la pluviométrie a certainement contribué à une augmentation de la recharge des systèmes aquifères de la région. L'analyse de la relation pluie-débit a montré que le rendement annuel des cours d'eau la zone d'étude est très corrélé à la pluviométrie. [17] et [6] aboutissent à des résultats similaires respectivement dans le bassin versant du N'zi et dans la zone côtière du Sud-Est de la Côte d'Ivoire. La tendance synchrone de la relation pluie-débit observée dans la zone d'étude atteste que le régime des cours dépend de la lame d'eau précipitée.

VI. Conclusion

La présente étude a consisté à analyser la tendance d'évolution de la relation pluie-débit dans un contexte de variabilité climatique. L'application de la méthode des indices de Nicholson et de la méthode de filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 aux séries pluviométriques a permis de mettre en évidence l'existence d'une variabilité climatique. Elle est marquée par une alternance de périodes humides (1949 à 1970) et sèches (1971-2000) avec plus ou moins des années dites normales (1969 à 1979). Ces résultats confirment la tendance à la baisse des précipitations constatée en Afrique de l'Ouest et particulièrement en Côte d'Ivoire à partir des années 70. L'analyse de la relation pluie-débit a montré que le rendement annuel des cours d'eau de la zone d'étude est très corrélé à la pluviométrie. La tendance synchrone de la relation pluie-débit observée dans la zone d'étude atteste que le régime des cours dépend de la lame d'eau précipitée.

Références

- [1]. A.M Kouassi, K.F. Kouamé, K.B. Yao, K.B. Dje, J.E. Paturel, et S. Oularé, 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, *Revue Européenne de Géographie (Cybergeo)*, 2010 <http://cybergeo.revues.org/index23388.html>.
- [2]. B. Adiaffi, *Apport de la Géochimie isotopique, de l'Hydrochimie et de la Télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact "Socle-Bassin sédimentaire" du Sud-est de la Côte d'Ivoire*, Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Paris-Sud, Orsay, France, 2008, 230.
- [3]. B. Adiaffi, C. Marlin, Y.M.S. Oga, M. Massault, A. Nauret, et J. Biemi, Palaeoclimatic and deforestation effect on the coastal fresh groundwater resources of SE Ivory Coast from isotopic and chemical evidence, *Journal of Hydrology* 369, 2009, 130-141.
- [4]. K.F. Kouamé, *Gestion intégrée des ressources en eau en Afrique tropicale humide. Cas du bassin versant du N'zo à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des systèmes d'informations géographiques et de la modélisation hydrologique*, Thèse de Doctorat d'État, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 2011, 250.
- [5]. M.G. Adja, *Étude de l'état hydrique saisonnier du bassin versant de la Bagoé dans un contexte de variabilité climatique : départements de Boundiali et Tengréla (Milieux soudano-sahéliens au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire)*, Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 2009, 177.
- [6]. M.S. Oga, M.G. Adja, A.F. Yapi, K.T. Yao, O.J.G. Kpan, D. Baka, et J. Biémi, Projection de la variabilité climatique à l'horizon 2050 dans la zone côtière au Sud-Est de la Côte d'Ivoire, *Larhyss Journal*, n°25, 2016, 67-81.
- [7]. K.F. Kouamé, A.M. Kouassi, B.T.M. N'Guessan, J.M. Kouao, T. Lasm, et M.B. Saley, Analyse de tendances dans la relation pluie-débit dans un contexte de changements climatiques: cas du bassin versant du N'Zo-Sassandra (Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2(2), 2013, 92-103.
- [8]. A.M Kouassi, K.F. Kouamé, M.B. Saley, et Y.B. Koffi, Identification de tendances dans la relation pluie-débit et recharge des aquifères dans un contexte de variabilité hydroclimatique : cas du bassin versant du N'Zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, *European Journal of Scientific Research*, 16(3), 2007, 412-427.
- [9]. A.M. Kouassi, B.T.M. N'Guessan, K.F. Kouamé, K.A. Kouamé, J.C. Okaingni, et J. Biemi, Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle GR2M: cas du bassin versant du N'Zi-Bandama (Côte d'Ivoire), *Comptes Rendus Académie des Sciences Géoscience*, 344 (5), 2012, 288-296.
- [10]. INS, *Recensement général de la population et de l'Habitat (RGPH) 1998* (Données socio-démographiques et économiques : Région des Savanes, 2001).
- [11]. R. Poss, *Étude morpho-pédologique de Katiola (Côte d'Ivoire)* (Notice explicative N° 94, ORSTOM (Paris) 1982) 142.
- [12]. S. Doumbia, *Géochimie, géochronologie et géologie structurale des formations birimiennes de la région de Katiola-Marabadiassa (Centre Nord de La Côte-d'Ivoire). Evolution magmatique et contexte géodynamique du Paléoprotérozoïque*, Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France, 1997, 202 p.
- [13]. S.E. Nicholson, An overview of Africa rainfall fluctuations of the last decade. *J. Climatol* 6, 1993, 1463-1466.
- [14]. P.D. Tyson, T.D.J Dyer, and M.N. Mametsa, Secular changes in South African rainfall: 1880 to 1972, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101, 1975, 817-833.
- [15]. M. Ouedraogo, *Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale*, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 2001, 257 p.
- [16]. F. Kanohin, M.B. Saley, et I. Savané,. Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide: cas de la région de Daoukro en Côte d'Ivoire. *Revue European Journal of Scientific Research*, 26(2), 2009, 209-222.
- [17]. A.M. Kouassi, *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 l'Université de Cocody, 2007, 210.
- [18]. J. Biémi, Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale hydrodynamique, hydrochimique et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aire granitique de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 1992, 479.

- [19]. J.E. Paturel, E. Servat, B. Kouamé, J.F. Boyer, N.H. Lubès, et J.M. Masson, Procédures d'identification de ruptures dans des séries chronologiques Modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne. *International Association of Hydrology Sciences*, 234, 1996, 99-110.
- [20]. J.E. Paturel, E. Servat, B. Kouamé, et J.F. Boyer, Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne, cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Benin, *Bulletin sécheresse* 6(1), 1995, 95-102.
- [21]. I. Savané, *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport de la télédétection et d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale*, Thèse d'Etat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 1997, 396.
- [22]. H. Lubès-Niel, J.M. Masson, J.E. Paturel, et E. Servat, Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue Sciences Eau*, 3, 1998, 383-408.
- [23]. K.F. Kouamé, *Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semi-montagneuse de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport des données des images satellitaires*, Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 1999, 194.
- [24]. K.F Kouamé, *Gestion intégrée des ressources en eau en Afrique tropicale humide. Cas du bassin versant du N'zo à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des systèmes d'informations géographiques et de la modélisation hydrologique*, Thèse de Doctorat d'État, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 2011, 250.
- [25]. T.J.H Coulibaly, *Répartition spatiale, gestion et exploitation des eaux souterraines : Cas du département de Katiola*. Thèse de Doctorat de l'Université d'Abobo Adjamé-Abidjan, Côte d'Ivoire, 2009, 135.