

Régimes des écoulements de surface dans un bassin hydrologique côtier : cas du bassin hydrologique de la Nyanga en République du Congo

Urbain Gampio MBILOU¹, Médard NGOUALA MABONZO^{2*}, Barthèle KOUA BITA² et Marie Joseph SAMBA - KIMBATA²

¹ *Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Ngouabi, BP 69 Brazzaville, Congo*

² *Laboratoire de Géographie physique, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Marien Ngouabi, BP 69 Brazzaville, Congo*

* Correspondance, courriel : medngouala@yahoo.fr

Résumé

L'étude des écoulements de surface dans le bassin hydrologique de la Nyanga au sud-ouest de la République du Congo qui a concerné l'analyse et l'interprétation des aspects hydrologiques tels que les débits, l'hydraulicité et le régime hydrologique a révélé après avoir examiné les paramètres comme le module moyen, le coefficient de variation saisonnier et le coefficient de corrélation, que dans l'ensemble de ce bassin, les écoulements sont directement influencés par les précipitations. Les crues sont brutales et les étiages prodigieux donnant ainsi lieu à des débits à éclipses : Plus il pleut, plus la hauteur d'eau augmente et les débits sont importants. La relation entre la pluie et les débits est donc satisfaisante, car la grande valeur du coefficient de corrélation obtenue (0,93) confirme cette analyse. Le régime hydrologique est irrégulier, et le rapport entre les débits extrêmes est faible (2,3). Ceci laisse croire que les populations environnantes ne sont pas menacées des inondations dans ce bassin hydrologiques de la Nyanga malgré ses crues surprenantes.

Mots-clés : *bassin hydrologique, débit, éclipse, écoulement, régime irrégulier, Nyanga, Congo.*

Abstract

Plans runoff in a coastal watershed : case Watershed Nyanga in Republic of Congo

The study of surface runoff in the watershed of Nyanga southwest of the Republic of Congo, which involved the analysis and interpretation of hydrological aspects such as rates, water availability and water regime revealed after reviewing the parameters such as the average module, the coefficient of seasonal variation and the correlation coefficient, that throughout this basin, flows are directly influenced by precipitation. The floods are sudden and prodigious low flows giving rise at rates eclipsing : more it rains, the more the water level rises and flows are important. The relationship between rainfall and flow rates is satisfactory because the high value of the correlation coefficient obtained (0.93) confirms this analysis. The hydrological regime is irregular, and the ratio between the extreme flow is low (2.3). This suggests that the surrounding populations are not threatened flooding in this hydrological basin of Nyanga despite its surprising floods.

Keywords : *watershed, flow, unsteady flow, eclipse, Nyanga, Congo.*

1. Introduction

Depuis 1965, l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, les Sciences et la Culture (UNESCO) a mis en place une succession de programmes hydrologiques visant d'une part à mieux comprendre le fonctionnement hydrologique des différentes régions du globe, et d'autre part, à accompagner les différents utilisateurs à une gestion optimisée et concertée pour éviter les gaspillages de l'eau mais surtout des tensions politiques potentielles majeures. La mobilisation autour de l'eau observée depuis quelques dizaines d'années est motivée par des préoccupations qui dépassent maintenant la ressource en elle-même : les enjeux sociaux, les politiques et les stratégiques sont majeurs. Les défis majeurs à prendre en compte ces dernières années en matière de gestion des ressources en eaux sont : la déplétion des aquifères à cause de la surexploitation, l'abaissement du niveau de certaines rivières à cause des changements climatiques, l'assèchement des lacs, la salinification des sols à cause de la surexploitation agricole, etc. [1 - 5]. La République du Congo dont la richesse des ressources en eau est évidente ne s'est pas encore dotée d'un inventaire complet de son potentiel en eau tant de surface que souterraine. Un inventaire hydrologique au Congo est nécessaire pour compléter la connaissance de son potentiel en eaux (de surface et souterraine), mais aussi pour comprendre le fonctionnement hydrologique de ses bassins et sous bassins [6]. Le Congo est l'un des pays de l'Afrique centrale où les études hydrologiques portant sur les écoulements sont anciennes et relèvent des activités du service hydrologique de l'ORSTOM actuel IRD [7]. Les travaux de [8 - 12] ont permis d'établir le fonctionnement des écoulements du bassin hydrologique de la Nyanga au Sud-ouest de la République du Congo à partir des précipitations et des débits. La présente étude traite des données hydroclimatiques recueillies dans ce bassin au cours des années hydrologiques allant de 1955 à 1993.

2. Matériel et méthodes

2-1. Cadre général d'étude

Le bassin hydrologique de la Nyanga est situé entre les longitudes 11°40' et 13°40' Est et les latitudes 1°50' et 2°60' sud de la République du Congo couvre une superficie de 5.800 Km², c'est une zone de haute altitude en amont dépassant 800 m. Ce bassin fait frontière avec la République gabonaise. Une partie de son bassin amont se trouve au Congo et tout le bassin aval au Gabon où le fleuve prend la direction de l'ouest.

Du point de vue géologique, le bassin hydrologique de la Nyanga est entièrement constitué des formations superficielles essentiellement d'âge précambrien, des calcaires et des schisto-calcaires [13]. Ses sols sont rangés dans la catégorie des sols peu évolués, hydromorphes et férallitiques représentés par sous-groupe des sols d'érosion qui se trouvent sur les pentes fortes calcaires ou calcaro-dolomitiques à la limite de la série schisto-calcaire et des grès de la série de la M'pioka ainsi que dans la série de la Moussouva. Le bassin hydrologique de la Nyanga est couvert par une végétation dominée en grande partie par une formation forestière de terre ferme qui joue un rôle très important, puisqu'elle conditionne largement le volume et la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement, le taux d'évaporation ainsi que la capacité de rétention d'eau par le sol. Elle se caractérise par *Myristicaccae*, ainsi que par *Terminalia* *superba* et *Aucoumea* *klaineana* [14]. Son climat est du type tropical humide caractérisé par une alternance de deux saisons : une saison chaude et pluvieuse qui s'étend de Novembre à Avril et une saison sèche et fraîche de Juin à Septembre [15].

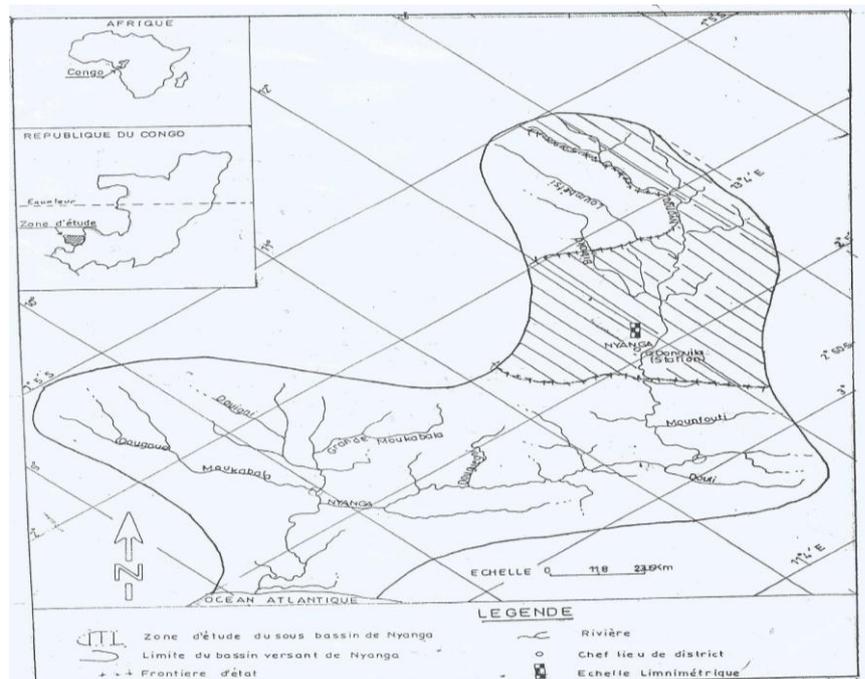


Figure 1 : *Situation géographique du bassin hydrologique de la Nyanga*

2-2. Méthodes

La méthodologie consiste à l'intégration et à la représentation des informations descriptives des composantes du milieu dans le système hydrologique en vue d'étudier les régimes des écoulements dans l'ensemble du bassin hydrologique de la Nyanga. Ainsi, nous avons créé une base de données à références spatiales contenant des informations qualitatives et quantitatives nécessaires pour ce bassin hydrologique.

2-2-1. Collecte des données

Pour la réalisation de cette étude, les données utilisées sont : les données pluviométriques (les hauteurs d'eau de pluie) collectées aux postes pluviométriques de Mossendjo et Divénié et aux postes synoptiques (Dolisie et Sibiti) pour la période de 1952 à 1990, les données hydrologiques à la station hydrométrique de Donguila de la période de 1955 à 1993. Elles permettent de caractériser les aspects pluviométriques et hydrologiques.

2-2-2. Traitement des données

Le traitement des données à consister en plusieurs approches permettent d'identifier les variabilités climatiques et hydrologiques dans un bassin hydrologique. Dans le cas de cette étude, il a été utilisé la méthode des variables centrées.

2-2-2-1. La moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique d'une série statistique est la somme es valeurs observées divisées par le nombre d'observations. Elle permet de déterminer des débits moyens annuels et mensuels et les précipitations moyennes annuelles et mensuelles :

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x = m_1(x_i) \quad (1)$$

2-2-2-2. L'écart type

C'est la racine carrée positive de la variance. La dispersion des données autour de la moyenne se calcule à partir de l'écart type qui permet de standardiser les données et de mettre en évidence les anomalies :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

2-2-2-3. Les moyennes mobiles sur trois ans

Les moyennes mobiles sur cinq ans se calculent de la manière suivante : les trois premières valeurs ont pour moyenne M_1 . Si on fait glisser d'un rang les cinq valeurs, on obtient M_2 qui est la moyenne des années de 2 à 6 inclus. Puis de la même manière, on obtient la moyenne M_3 des années 3 à 7, etc. Les moyennes mobiles centrées de cinq ans, permettent un lissage des séries pluviométriques des stations et des postes pluviométriques pour déterminer les tendances (tendances à la hausse, tendance à la baisse) :

$$M_1 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_i \text{ et } M_2 = \frac{1}{5} \sum_{i=2}^6 x_i \quad (3)$$

2-2-2-4. Le coefficient de variation

C'est le rapport de l'écart type (σ) à la moyenne (\bar{x}). Il est souvent multiplié par 100. Il permet dans cette étude d'apprécier le degré de variabilité pluviométrique et des débits dans le temps :

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (4)$$

2-2-2-5. Les données centrées réduites ou standardisées

Une seconde étape consiste à diviser l'ensemble des données centrées par l'écart type de la série. La nouvelle série centrée et réduite, ou standardisée encore appelée série d'anomalie a donc deux caractéristiques fixes : moyenne nulle et écart type à un (1). Elles permettent de déterminer les années excédentaires et les années déficitaires :

$$\Delta = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma} \quad (5)$$

Pour le contexte hydrologique : la pluviométrie moyenne (P) ; la lame d'eau équivalente (H) ; le coefficient d'écoulement (Ke) ; le coefficient de variation saisonnière (K₃) ; le déficit d'écoulement (De) et le coefficient de corrélation. Le bilan hydrologique permet d'évaluer aussi la sensibilité du fleuve face aux variations climatiques.

2-2-2-6. La lame d'eau équivalente

La lame d'eau équivalente est la hauteur d'une nappe répartie sur une surface horizontale est égale à la différence des précipitations du bassin versant, et le déficit d'écoulement à la station :

$$H \text{ (mm)} = P - D \tag{6}$$

P= pluie, D= Déficit d'écoulement et H= lame d'eau écoulée

2-2-2-7. Le coefficient d'écoulement

C'est le rapport entre l'indice d'écoulement et la hauteur moyenne des précipitations tombées sur un bassin. Ce phénomène s'explique par le fait que plus de la moitié du volume d'eau écoulée au cours de l'année, proviennent du ruissellement des crues ou de l'écoulement hydrométrique. Le coefficient d'écoulement dépend non seulement du total pluviométrique annuel, mais aussi de façon dont sont tombées les pluies. Il est donc obtenu en divisant la lame d'eau équivalente par la précipitation et en multipliant par la suite le quotient par 100.

$$K_e = 100 \times H/P \tag{7}$$

2-2-2-8. Le coefficient de variation saisonnière (K3)

C'est le rapport du débit annuel maximal par le débit annuel minimal :

$$K_3 = Q_{\text{maxi}} / Q_{\text{min}} \tag{8}$$

2-2-2-9. Le déficit d'écoulement

C'est la différence entre le module pluviométrique sur un bassin hydrographique et l'écoulement sur le même bassin. Le déficit d'écoulement est égal à la différence de la précipitation à la lame d'eau équivalente H.

2-2-2-10. Le coefficient de corrélation

*La relation entre les pluies et les débits met en évidence la corrélation entre les variables distinctes qui sont les pluies et les débits grâce à la régression linéaire du type : $Y = ax + b$. Cette relation dépendra de la valeur du coefficient de corrélation (r), dont la **Formule** s'écrit :*

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \tag{9}$$

\bar{x}, \bar{y} : moyennes des variables indépendantes et dépendantes ;

x_i, y_i : effectifs indépendantes et dépendantes.

2-2-2-11. Hydraulicité

L'hydraulicité est le rapport moyen annuel d'un cours d'eau lors d'une année déterminée au module calculé

sur une longue période destinée à caractériser l'abondance de l'écoulement pendant cette année.

$$E_c = \left(\frac{D_{ma} - D_{mi}}{D_{mi}} \right) \times 100 \quad (10)$$

D_{ma} : Débit moyen annuel ; D_{mi} : Débit moyen inter annuel.

2-2-2-12. Période de retour de crues

Les périodes de retour des crues sont calculées par la **Formule** :

$$T = \frac{1}{F} \quad (11)$$

F : Fréquence de dépassement ; T : temps de retour en année.

3. Résultats et discussion

3-1. Régime des écoulements

Le régime des écoulements du bassin hydrologique de la Nyanga est caractérisé par deux périodes : la période de hautes eaux qui apparaît deux fois au cours de cette étude (Janvier à mai et Novembre à Décembre) et la période de basses eaux qui va de Juin à Octobre (**Figure 2**).

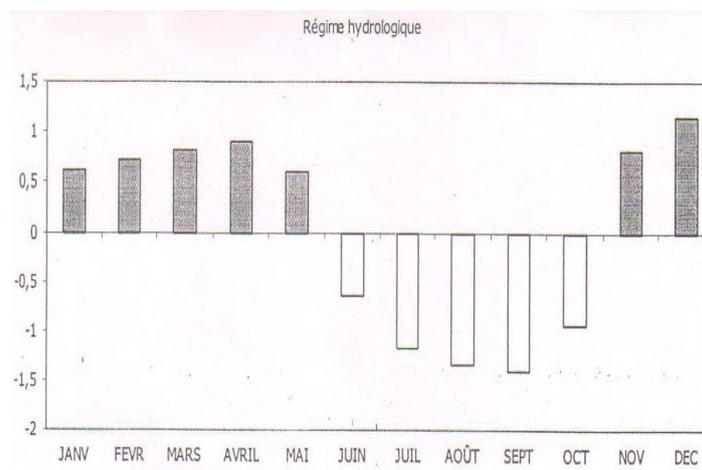


Figure 2 : Régime des écoulements de la Nyanga à Donguila (1955 - 1993)

3-2. Evolution inter annuelle des écoulements

Le graphique de l'évolution inter annuelle des écoulements de la rivière Nyanga présente des périodes déficitaires et des périodes excédentaires qui se justifient par deux tendances. L'examen de cette évolution inter annuelle des écoulements, montre une tendance à la baisse des écoulements (de 1955 à 1958, de 1962 à 1964, de 1966 à 1968, de 1970 à 1972, de 1975 à 1976, de 1977 à 1983, de 1986 à 1987 et de 1991 à 1993). Elle est la hausse (de 1959 à 1962, de 1964 à 1966, 1968 à 1970, de 1972 à 1975, de 1976 à 1977, de 1983 à 1986 et de 1988 à 1991). Cette évolution est similaire à celle des précipitations.

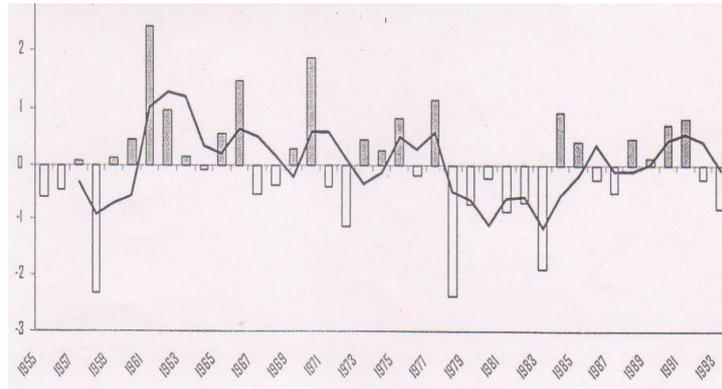


Figure 3 : Evolution inter annuelle des écoulements de la Nyanga à Donguila (1955 - 1993)

L'évolution générale des écoulements, montre que les débits de ce cours d'eau ont une tendance à la baisse à partir des années 1964 jusqu'aux années 83. Cette tendance est similaire à l'évolution inter annuelle des précipitations.

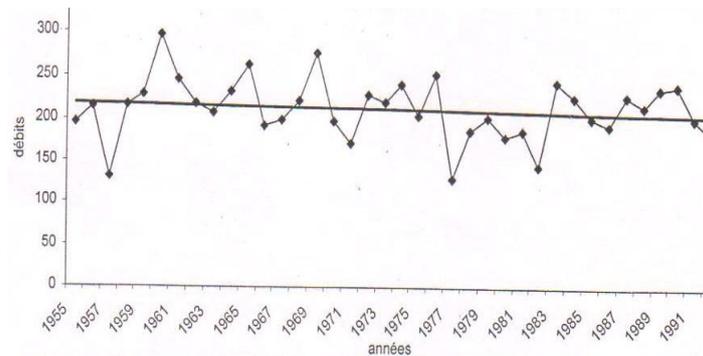


Figure 4 : Variation des débits de la rivière Nyanga à Donguila

La chronique des débits (1955 à 1993) de la station limnimétrique de Nyanga à Donguila, montre une tendance générale à la baisse (**Figure 4**). La variabilité est assez faible, égale à 16,46 % autour d'une moyenne de $212 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3-3. Evolution inter saisonnière des écoulements

L'évolution inter saisonnière des écoulements de ce bassin, se fait comme pour les précipitations selon le découpage suivant : Janvier - Février ; Mars - Avril - Mai ; Juin - Juillet - Août - Septembre et Octobre - Novembre - Décembre. Le graphique 5 (a, b, c, d) des écoulements saisonniers montre une alternance des périodes déficitaires et des périodes excédentaires.

3-3-1. Saison Janvier - Février (JF)

L'évolution saisonnière des écoulements pour l'ensemble du bassin montre deux tendances (**Figure 5a**) : une tendance à la hausse et l'autre à la baisse des écoulements. Le graphe de cette saison (**Figure 5a**) présente quatre périodes déficitaires et quatre périodes excédentaires. L'évolution des écoulements de cette saison montre une tendance à la hausse et à la baisse.

3-3-2. Saison Mars - Avril - Mai (MAM)

Le graphe des écoulements de cette saison présente quatre périodes déficitaires et cinq périodes excédentaires. Cette évolution est à la hausse de 1956 à 1957, de 1959 à 1961, de 1965 à 1966, de 1968 à 1970 et de 1972 à 1977 et de 1983 à 1986. Elle est à la baisse de 1957 à 1959, de 1961 à 1964, de 1966 à 1968, de 1970 à 1972, de 1977 à 1983 et 1986 à 1989.

3-3-3. Saison Juin - Juillet - Août - Septembre (JJAS)

L'évolution des écoulements de cette saison (*Figure 5c*) montre une alternance des périodes excédentaires et déficitaires : les périodes excédentaires sont de 1955, en 1957, de 1959 à 1966, en 1970, en 1973, de 1975 à 1977, en 1979, en 1984, en 1984, en 1987, en 1989 et de 1991 à 1992, les périodes déficitaires en 1956, en 1958, de 1967 à 1969, de 1971 à 1972, en 1974, en 1978, de 1980 à 1983, de 1985 à 1985 à 1986, en 1988, en 1990 et 1993. Elle est marquée par une alternance des années excédentaires et déficitaires.

3-3-4. Saison Octobre - Novembre - Décembre (OND)

Cette saison présente une évolution marquée par cinq périodes excédentaires et trois périodes déficitaires. Cette évolution des écoulements montre une tendance à la hausse de 1958 à 1960, de 1965 à 1969, de 1972 à 1973, de 1977 à 1980 et de 1983 à 1988 elle est à la baisse de 1960 à 1964, de 1969 à 1972, de 1975 à 1977, de 1980 à 1982 et de 1988 à 1993.

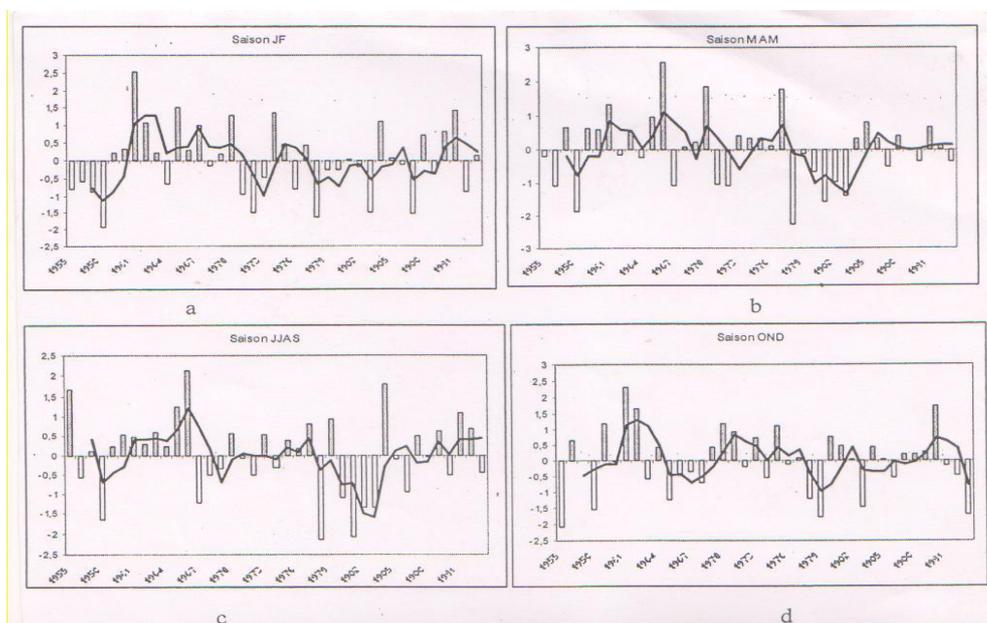


Figure 5 : Evolution inter saisonnière des écoulements de la Nyanga à Donguila (1955 - 1993)

3-3-5. Les hydraulicités

Les hydraulicités annuelles de cette rivière se caractérisent par des périodes plus ou moins faibles d'une année à l'autre. Ces périodes sont à relier aux variations pluviométriques avec des années et des séries d'années plus sèche comme les années 1956, 1958, 1963, 1967 à 1969, 1971 à 1972, 1976, 1978 à 1983, 1986 à 1987 et de 1992 à 1993 ou plus humides comme 1959, 1961 à 1962, 1965 à 1966, 1970, de 1974 à 1975,

1977, 1984 et 1990 à 1991.

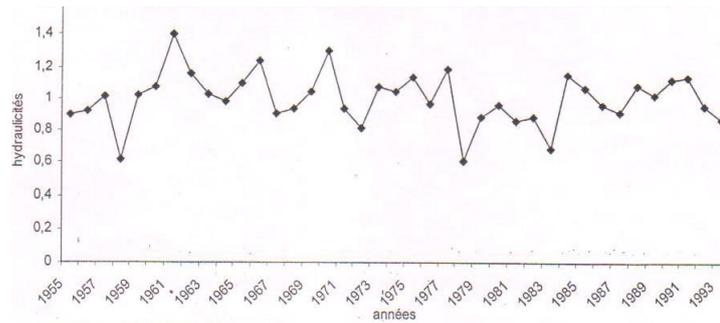


Figure 6 : Evolution des hydraulicités annuelles (1955 - 1993)

D'une manière générale, les hydraulicités de cette rivière Nyanga montrent une évolution voisine de la normale avec notamment 1958, 1978 et 1983 sont exceptionnellement sèches, suivie des années très humides (1961, 1966 et 1970). La **Figure 7** montre les hydraulicités mensuelles, caractérisées par des écarts importants entre les mois. En Juin, Juillet, Août, Septembre ainsi qu'en Octobre, les valeurs sont déficitaires ; par contre le reste des mois les hydraulicités sont excédentaires.

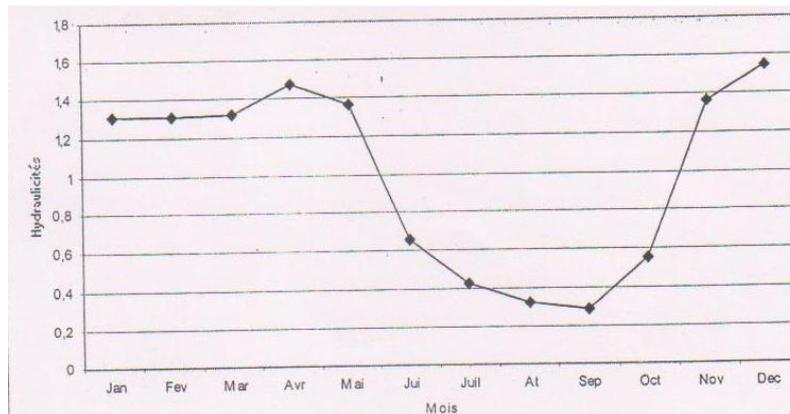


Figure 7 : Evolution des hydraulicités mensuelles (1955 - 1993)

3-4. Bilan hydrologique

Le bassin hydrologique de la Nyanga est recouvert en grande partie par la forêt ombrophile, il est suffisamment arrosé de 1469 mm. Son déficit d'écoulement est de 813 mm, son module spécifique est de 36, 55 L.s⁻¹.km⁻². La Nyanga coule sur un substratum très peu perméable. Les eaux de pluie s'infiltrent difficilement, ce qui traduit une forte valeur de la lame d'eau écoulé de 656 mm et une faible valeur du déficit d'écoulement de 813 mm. Le coefficient de corrélation entre les précipitations et les débits est de 93 %. Les écoulements de cette rivière sont largement tributaires des efforts pluviométriques, car la période des hautes eaux sont alimentées par les précipitations des saisons (Mars-Avril - Mai et Octobre - Novembre et Décembre).

3-5. Débits des crues

Dans l'ensemble du bassin hydrologique de la Nyanga de la période de 1955 à 1993, les débits des crues se sont manifestés en plusieurs épisodes à savoir : 5 crues en Avril, 4 crues en Mai, 11 crues en Novembre, 3 crues en Janvier, 5 crues en Mars, 2 crues en Février, 9 crues en Décembre. Ces débits des crues permettent de déterminer les périodes de retour des crues suivant le **Tableau 1** :

Tableau 1 : Période de retour des débits des crues de la Nyanga à Donguila (1955 - 1999)

Périodes de retour des crues	Fréquence	Débits
1000 ans	0,001	893 m ³ /s
100 ans	0,01	695 m ³ /s
25 ans	0,04	849 m ³ /s
10 ans	0,1	687 m ³ /s
5 ans	0,2	668 m ³ /s

Sur trente-huit (38) années d'observations des crues sur le bassin hydrologique de la Nyanga, les crues ont une probabilité de retour en 1000 ans, 100 ans, 25 ans, 10 ans, et 5 ans respectivement de : 893, 695, 849, 687 et 668 m³/s. L'étude des écoulements du bassin hydrologique de la Nyanga au sud-ouest de la République du Congo a concerné l'analyse et l'interprétation des aspects hydrologiques. Les méthodes statistiques utilisées sont l'analyse des hydraulicités et les périodes de retour des crues. Les résultats obtenus indiquent que l'évolution des précipitations et les débits présentent des disparités spatio-temporelles. Les hauteurs d'eau et les écoulements présentent en alternance les périodes déficitaires et excédentaires. Les crues sont brutales et les étiages prodigieux donnant lieu à des débits à éclipses. Ces résultats reflètent ceux de [16] qui dans son étude a trouvé que la fréquence des débits et des crues annuelles variaient de 9,1 % à 90,9 %. Ceci s'explique par le fait que la Nyanga a un régime irrégulier en absence d'un aquifère régulateur et, les précipitations sont proportionnelles aux écoulements dans ce bassin hydrologique de la Nyanga,

4. Conclusion

En définitive, les écoulements dans l'ensemble du bassin hydrologique de la Nyanga sont directement influencés par les précipitations, avec un module inter annuel de 212 m³/s, un débit spécifique de 36,55 L/s/km² et un coefficient de variation saisonnière de 5,2 traduisant le fonctionnement irrégulier de la rivière Nyanga. De 1955 à 1993 la Nyanga a connu le module le plus élevé (297 m³/s) en 1961 en période humide et son module le plus faible (129 m³/s) en 1978, en période sèche. La relation entre la pluie et les débits est satisfaisante, car la grande valeur du coefficient de corrélation obtenue (0,93) confirme cette analyse. Le régime hydrologique est irrégulier, le rapport entre les débits extrêmes est faible (2,3). Les hydraulicités sont normales dans l'ensemble, car les valeurs s'approchent de l'unité. La variabilité des débits est marquée par des fluctuations importantes entre les extrêmes. Les évolutions des écoulements saisonniers et annuels, ont marquées par une alternance des années déficitaires et excédentaires. Les écoulements de la rivière Nyanga ne sont pas instantanés ce qui explique le temps de réponse entre la chute des pluies et le moment de l'écoulement. Le régime des écoulements est du type équatorial de transition australe. Enfin, la variation saisonnière des écoulements est calquée sur le régime des précipitations.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement le Laboratoire de Géographie Physique de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines et le Département de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Marien NGOUABI de Brazzaville pour leur aide multiformes.

Références

- [1] - A. CHAPONNIERE, Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride : cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain). Thèse de doctorat. Ecole Doctorale ABIES, (2005) 268.
- [2] - CORPEN, Les fonctions environnementales des zones tampons-Protection des eaux, (2007) 101.
- [3] - A. E. GAROUANI et A. TRIBAK, Variabilités climatiques et Ressources en eau dans le bassin versant de L'OUED INAOUENE (NORD DU MAROC). Revue scientifique et technique, (2014) 76 - 83.
- [4] - G. LIENOU, Impacts de la variabilité climatique sur les ressources eau et les transports des matières en suspension de quelques bassins versants représentatifs au Cameroun, (2007) 486.
- [5] - F. LAURENT et N. DUPONT, L'eau dans le milieu, (2011) 53.
- [6] - Mc. D. MOTT, BCEOM, SOGREA, ORSTOM, Évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne, pays de l'Afrique de l'Ouest. Rapport du pays : Congo. Paris, (1991) 30 - 31 ; 33 - 34 ; 60 - 62 ; 74 - 75.
- [7] - L. SANZ, Les principaux fleuves et rivières de la République du Congo. Du Moyen Congo à la République du Congo. DMCARC. Fond Documentaire sur l'histoire du Congo-Brazzaville (<http://dmcarc.com/les-principaux-fleuves-et-rivieres-de-la-republique-du-congo/>), (2015).
- [8] - M. MOLINIER et B. THEBE, Données hydrologiques en République Populaire du Congo, ORSTOM, Brazzaville, (1977) 123.
- [9] - G. HIEZ, Les régimes hydrologiques de la République du Congo, ORSTOM, Brazzaville, (1962) 74.
- [10] - J. RODIER, Les régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'ouest du Congo, ORSTOM, Paris, (1964) 137.
- [11] - N. MOUKOLO, Hydrogéologie du Congo. Document du BRGM, No 210. éd. BRGM. Orléans, (1992) 128.
- [12] - G. MAHE, Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique : étude des éléments du bilan hydrique et variabilité inter annuelle, analyse des situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes, thèse de doctorat Université Paris 7, (1993) 249.
- [13] - P. DADET, Notice explicative de la carte géologique de la République du Congo Brazzaville au 1/500.000, mémoire du BRGM n°70, Congo Brazzaville, ORSTOM, (1969) 12 - 24.
- [14] - B. DESCOINGS, Les grandes régions naturelles du Congo. Ed. Candeliea, (1975) 31 - 66.
- [15] - M. J. SAMBA-KIMBATA, Le climat du Bas Congo. Thèse 3^e cycle, Centre de Recherches de Climatologie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université de Bourgogne, Dijon (France), (1978) 268 + fig.
- [16] - G. HIEZ, B. BILLON, P. POUCHEBEUF, P. CHAPERON, Hydrologie du bassin supérieur du Niari, ORSTOM, section Hydrologie, Brazzaville, (1965) 170.