

Variabilité hydroclimatique et bilan hydrologique dans le bassin versant de la Djiri au nord de la ville de Brazzaville (République du Congo)

Hydroclimatic variability and water balance in the Djiri watershed north of the city of Brazzaville (Republic of Congo)

¹ NGOUALA MABONZO Médard

Résumé

L'étude de la variabilité hydro-climatique dans le bassin versant de la Djiri à Brazzaville au Congo vise à étudier les fluctuations du climat dans cet espace géographique. L'impact de la variabilité pluviométrique sur les ressources en eau du bassin et l'influence du substratum géologique sur l'écoulement sont également analysés. L'examen de la variation climatique et hydrologique dans ce bassin versant a été fait à partir de l'étude des séries des hauteurs pluies, de températures, de l'ETP, et de débits sur une période allant de 1981 à 2010. L'utilisation des méthodes de tendance linéaire et de déficit hydrique ont permis d'analyser l'évolution des termes du bilan hydrologique et d'étudier l'impact des fluctuations pluviométriques sur les paramètres de l'écoulement.

Les résultats montrent que les déficits pluvieux de la décennie 1990 n'ont pas des répercussions sur les écoulements. Avec un taux évalué à 726 mm d'eau, l'infiltration est le processus dominant dans le bassin versant de la Djiri que le ruissellement. Le coefficient d'écoulement est important, mais la corrélation pluies/débits est faible ; ce qui prouve que les débits de la rivière Djiri sont influencés à la fois par les pluies et le substratum géologique. Ce dernier joue un rôle prépondérant des débits pendant la saison sèche.

Mots clés : Congo, Brazzaville, bassin versant de Djiri, variabilité hydro-climatique.

Abstract

The study of hydro-climatic variability in the Djiri watershed in Brazzaville, Congo aims to study the climatic variability in this geographical space, the impact of rainfall fluctuation on the water resources of the basin and analyze the influence of the geological bedrock on the flow. The analysis of climatic and hydrological variability in this watershed was made from the analysis of rainfall series, temperatures, ETP, and flows over the period from 1981 to 2010. The use of methods of linear trends and water deficit has made it possible to analyze the evolution of the terms of the hydrological balance and to study the impact of rainfall fluctuations on runoff parameters. The results show that the rainfall deficits of the 1990s have no impact on runoff. With a rate estimated at 726 mm of water, infiltration is the dominant process in the Djiri watershed than runoff. The runoff coefficient is high, but the rainfall/flow rate correlation is low; which proves that the flows of the Djiri river are influenced by both rainfall and the geological bedrock. The latter plays a major role in the flows during the dry season.

Keywords: Congo, Brazzaville, Djiri watershed, hydro-climatic variability.

Introduction

Le dernier rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2019, p.21) fait état d'un réchauffement climatique mondial sans équivoque qui est, caractérisé par une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan. Le continent africain semble particulièrement être touché, puisque la variation thermique entre 1970 et 2004 y est estimée entre

0,2 et 2 °C. Selon les prévisions, établies par l'application de modèles de circulation atmosphérique présentant encore bien des incertitudes, la hausse des températures devrait se confirmer dans les années à venir. « Le continent africain mérite toutefois une analyse plus fine du changement climatique qui l'affecte, notamment à des échelles régionales, pour perfectionner les modèles de prévision (B. C. Bates et al, 2008, pp.5-7 ; F. J. Acero et al., 2011, p.1089; V. Homar et al, 2010, p.2; L. Amraoui, 2013, p.13).

La variabilité et les changements du climat menacent dangereusement les ressources naturelles en l'occurrence celles en eau. Les études portant sur la variabilité et les changements climatiques ont intéressé la communauté mondiale suite à plusieurs manifestations de grande ampleur. Parmi celles-ci, la sécheresse qui a touché les deux bandes tropicales de la planète (surtout les pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest et Centrale) depuis les années 1970 (J. Sircoulon, 1976, p.77 ; D. Tapsoba, 2006, pp.5-7).

En République du Congo, le régime hydrologique des cours d'eau se détériore à un rythme inquiétant. Cette détérioration est due généralement aux changements climatiques. Dans un contexte beaucoup plus réduit, le bassin versant de la Djiri au nord de Brazzaville, est une zone qui subit de plus en plus une forte pression démographique qui pourrait être à l'origine de l'ensablement du cours d'eau principal et de ses affluents. En effet, du point de vue physique, ce bassin versant appartient dans un écosystème fragile dominé de sable et son fonctionnement est influencé par une géologie assez meuble rendant facile l'infiltration et la restitution des eaux emmagasinées pendant la saison sèche, tel est le comportement général des plateaux Téké. Le relief est constitué de deux unités des collines à pentes faibles et une plaine. La végétation dégradée accentue l'écoulement de surface en occasionnant des érosions.

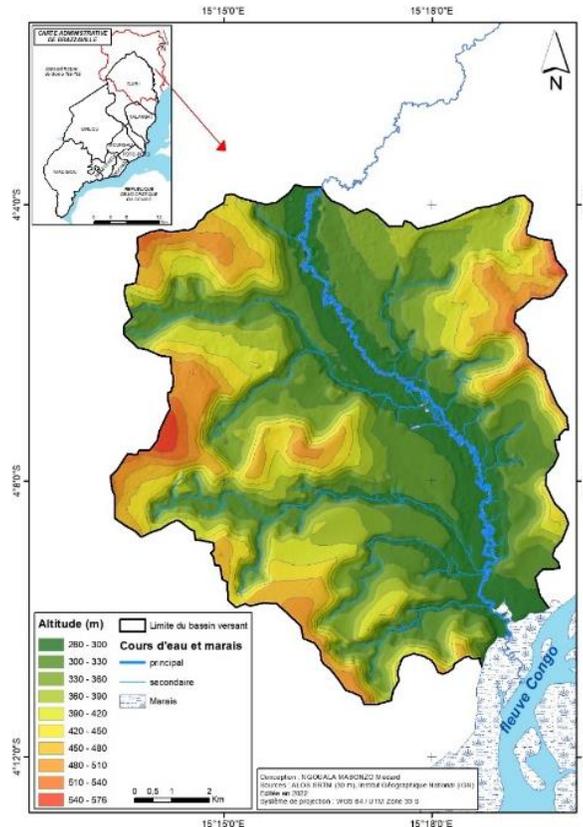
L'intérêt de cette étude est de chercher à mieux comprendre la variabilité hydroclimatique dans l'ensemble du bassin versant de la Djiri afin d'analyser son évolution avant et après 1970, considérée comme année de rupture. Les diminutions de la hauteur des pluies, la dynamique saisonnière tant constatée, la prolongation des saisons sèches en sont les manifestations constatées sur le bassin du Congo et à l'échelle du Sous-bassin de la Djiri.

1. Matériels et méthodes

1.1. Présentation du cadre de d'étude

Le bassin versant de la Djiri est situé dans le département de Brazzaville, plus précisément dans sa partie septentrionale et est localisé entre les latitudes 4° et 4°52' Sud et les longitudes 15° et 15°55' Est (Figure 1). Il fait partie des cinq bassins versants qui constituent l'hydrosystème du plateau Téké au sud-ouest de la République du Congo.

Figure 1 : Situation géographique du bassin versant de la Djiri



Du point de vue géologique, ce bassin versant est constitué de deux importantes séries sédimentaires essentiellement gréseuses et sableuses (A. Le Marechal, 1966, p. 9 ; P. Dadet, 1969, p.84). Ses sols sont rangés dans la catégorie des sols ferrallitiques et podzoliques. Le

bassin versant de la Djiri est couvert par des forêts galeries qui se présentent sous forme de boqueteaux forestiers au milieu des savanes arbustives avec prédominance de *Milletia laurentii*, *Hyparrhenia diplandra* et *Hyparrhenia lecomtei*, à tapis clair (J. Koechlin, 1961, p.52).

Son climat est de type tropical humide (M.J. Samba-Kimbata, 1978, p.78), avec deux saisons : une saison pluvieuse qui s'étend d'octobre à mai, soit 8 mois, marquée par un ralentissement des pluies de fin décembre à mi-février et une saison sèche allant de juin à septembre, soit 3 à 4 mois.

1.2. Données utilisées

Pour cette étude nous avons utilisé les données mensuelles des hauteurs de pluies, des températures, de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et de l'insolation provenant des stations de Maya-maya et de Kintélé. Ces relevés, ont été collectés au service de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile (ANAC) de Brazzaville pour une période allant de 1981 à 2010. Les données hydrologiques sont celles enregistrées à la station hydrométrique du premier pont de la Route Nationale 2 (RN2). Pour cette étude, nous allons utiliser des données pluviométriques et hydrologiques qui s'étendent sur une période de 30 ans.

1.3. Méthodes

L'approche méthodologique utilisée dans le cadre de cette étude est fondée sur des méthodes statistiques afin de déterminer la variabilité pluviométrique et hydrologique responsables des modifications environnementales du milieu.

Cette approche a consisté à établir d'abord l'existence des valeurs interannuelles au niveau de la pluviométrie, l'écoulement et les réserves en eau souterraine du bassin versant. Dans le cadre de cette étude, il sera utilisé la méthode des variables centrées réduites (J.E. Paturel *et al.*, 1988, p.45), la recherche de liaisons entre pluie et lame écoulée, le bilan climatique et le bilan hydrologique.

1.3.1. Les Variables Centrées Réduites

L'indice pluviométrique ou variable centrée et réduite de la station est calculé à partir de cette formule :

$$I_p = \frac{X_i - X_m}{\sigma_i} \quad \text{Equation 1}$$

Avec : I_p = Indice pluviométrique, X_i (mm) = Hauteur de pluie totale pour une station pendant une année i , X_m (mm) = Moyenne annuelle de la pluie à la station pendant la durée entière de l'enregistrement (période d'étude) et σ_i = écart-type de la pluviométrie annuelle.

Le Coefficient de Variation (CV) permet d'apprécier le degré de la variabilité des précipitations dans l'espace. Le C.V est le rapport de l'écart type à la moyenne, il s'exprime de la manière suivante :

$$C.V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad \text{Equation 2}$$

Toutefois, les paramètres de dispersion ne suffisent pas à eux seuls à mesurer la variabilité car ils ne décrivent pas l'évolution temporelle des séries pluviométriques et hydrométriques.

1.3.2. La recherche de liaisons ou de dépendances statistiques entre pluie et lame 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 écoulées dans le bassin versant de Djiri, il est défini par la formule :

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma(x) \cdot \sigma(y)} \quad \text{Equation 3}$$

où N est le nombre total d'individus, x_i et y_i sont les valeurs des séries ; \bar{x} et \bar{y} sont les moyennes des variables, et $\sigma(x)$ et $\sigma(y)$ représentent leurs écarts-types.

1.3.3. Détection de ruptures de stationnarité dans le bassin de Djiri

La détection de tendances et de ruptures dans les séries pluviométrique et hydrométrique est appréhendée par de méthodes statistiques. Mais dans le cas de cette étude, il sied de signaler que c'est le test de Pettitt qui a été utilisé pour l'étude des variables hydrométéorologiques (P, 1979, p...). Ce test a été utilisé par des auteurs comme P. Hubert et al., (1989, p.350), E. Amoussou et al.(1995, p.7), Servat et al.(1998, p.3) et S. Ardoïn Bardin (2004, p.98), pour l'Afrique en général et de façon restreinte en Afrique Centrale par S. Bigot et al. (2005, p.8) et en Afrique tropicale par I. Pocard (2000, p.29). Spécifiquement, au Congo, plusieurs auteurs ont utilisé cette méthode (G. Ibiassi Mahoungou, 2012, pp.42-43; M. Massouangui Kifouala, 2014, p.42). L'utilisation du test de Pettitt, dérivé du test de Mann-Whitney (A. Aka et al., 1996, p169), permet de tester deux échantillons d'une même série. A partir de deux échantillons x_1, x_2, \dots, x_t et $x_{t+1}, x_{t+2}, \dots, x_n$, la statistique U compte le nombre de fois où un membre du premier groupe excède un membre du second groupe. Elle s'écrit :

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(X_i - X_j) \quad \text{Equation 4}$$

avec $\text{sgn}(x) = 1$ si $X > 0$, 0 si $X = 0$ et -1 si $X < 0$

Soit K_n la variable définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,n}$ pour t variant de n à n-1, si K_{max} désigne la valeur de K_n prise pour la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur K_{max} est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(K_n > K_{max}) = 2 \exp X \frac{-6(K_{max})^2}{n^3 - n^2} \quad \text{Equation 5}$$

Pour un risque α de première espèce donné, si $\text{prob}(K_n > K)$ est inférieure à α , l'hypothèse nulle est rejetée. Dans ce cas, t indique la rupture, mais cette date est purement indicatrice (M.

Ouédraogo, 2001, pp.113-114, S. Ogouwalé, 2021, pp.3-4). Alors, les périodes d'avant et d'après les dates de ruptures servent à caractériser les phases humides et sèches et par conséquent les tendances, les écarts et les déficits pluviométriques ou hydrométriques. Les points de rupture sont utilisés comme l'année pivot permettant de calculer les variations moyennes de la pluviométrie ou de l'écoulement grâce à l'indice de déficit.

1.3 4. Les variations d'écoulement

1.3.4.1. L'écoulement

Le terme d'écoulement se rapporte 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.

$$L = \frac{Q}{S} \times t \times 10^3 \quad \text{Equation 5}$$

avec L = écoulement (mm) ; Q = débit (m³/s) ; t = le temps (s) ; S = superficie du bassin (km²).

1.3.4.2. Le coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement a été déterminé à partir de la formule :

$$C = \frac{L}{P} \times 100 \quad \text{Equation 6}$$

où C= évolue suivant les variations climatiques et souligne les différences de comportement entre les pluies et les écoulements. Il met en évidence le fonctionnement hydrologique différentiel des formations lithologiques d'un bassin versant ; L = écoulement (mm) et P = hauteur de pluie (mm). Il traduit la capacité de ruissellement du bassin. Ce coefficient est étroitement lié à des variations climatiques et traduit la relation entre les pluies et les écoulements (G. Mahé et J. C. Olivry, 1995, p.111 ; E. W. Vissin, 2007, p.98).

1.3.4.3. Le 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 ($\int Qdt$) écoulée à l'exutoire :

$$DE = P - \int Qdt \quad \text{Equation 7}$$

C'est aussi 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.

1.3.4.4. Le bilan climatique

Il traduit la succession d'excédents et de déficits en eau dans le bassin versant. Ainsi, le climat devient sec quand les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible (E. W. Vissin, 2007, pp.83-84 ; E. Amoussou, 2010, pp.112-113). Le bilan climatique (P_u) exprime donc la différence entre la somme des abats pluviométriques (P) et celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) : $P_u = P - ETP$, quand il est supérieur à 0. Le bilan climatique du bassin permet de mettre en évidence l'évolution de la demande atmosphérique en eau donné par la différence entre les apports pluvieux et les pertes partielles par évaporation. Cet indicateur a surtout été appliqué à des régions ayant une saison sèche et une saison des pluies. Tel est le cas pour le bassin versant de la Djiri. Ce bilan correspond à la partie de l'averse ayant pu raisonnablement donner lieu au ruissellement.

Ainsi :

- le bilan climatique est excédentaire si $P - ETP > 0$; *le mois ou l'année est humide*
- le bilan est déficitaire, si $P - ETP < 0$; le mois ou l'année est sec
- le bilan est équilibré quand $P - ETP = 0$.

1.3.4.5. Le bilan hydrologique

Le bilan hydrologique rend compte des entrées et des sorties d'eau à l'échelle du bassin versant en fonction des précipitations (P), de l'écoulement/ruissellement (R), l'évaporation (E) et de l'infiltration (I).

L'équation du bilan hydrologique utilisée pour cette étude est celle de Le Barbé *et al*, (1993, p.111).

Elle s'écrit :

$$P = E + L + I + (S - S_0) \quad \text{Equation 8}$$

avec P = pluie en mm, $E=ETR$ = évaporation en mm, L = écoulement en mm, I = infiltration en mm et $S_1 - S_0$ = variation du stock d'eau présent dans le bassin en mm pendant une période donnée.

Des cinq termes de cette équation, deux (I et $S_1 - S_0$) ne sont pas quantifiables par des mesures directes. Pour réduire le nombre d'inconnues, nous avons choisi la période de façon à ce que la variation ($S_1 - S_0$) puisse être supposée négligeable. L'infiltration (I) varie selon le sol et la quantité de pluie tombée.

Ainsi, l'analyse du paramètre infiltration peut permettre de suivre l'évolution de la recharge de la nappe dans le bassin-versant du complexe.

Elle s'écrit :

$$I = P - (L + E) \quad \text{Equation 9}$$

avec I = infiltration en mm, P = pluie en mm, $L = 300 + 25 \times T + 0,05 \times T^3$ (écoulement en mm), T en degrés centigrades et E = évaporation en mm

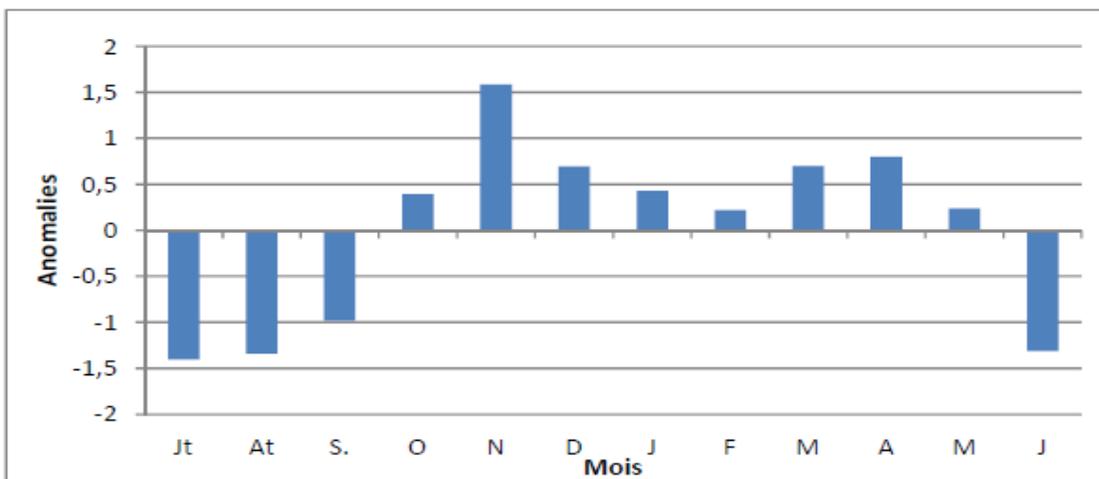
$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{L}{P}\right)^2}} \quad \text{Equation 10}$$

2. Résultats

2.1. Variabilité mensuelle de la pluviométrie dans le bassin versant de la Djiri

La variabilité moyenne mensuelle des précipitations dans le bassin versant de la Djiri (Figure 2) a été appréciée à partir des valeurs centrées réduites sur la période allant de 1981 à 2010. Cette analyse nous a permis de mettre en évidence le régime bimodal de la pluviométrie marquée par des anomalies mensuelles positives. La première saison des pluies intervient pendant les mois d'octobre- novembre- décembre (OND) et la deuxième saison pluvieuse pendant les mois de mars- avril- mai (MAM). Par contre, la saison sèche dans le bassin versant de la Djiri intervient en juin- juillet –août-septembre (JJAS), caractérisée par les anomalies négatives et les mois de janvier- février connaissent un fléchissement intra-pluvial.

Figure 2 : Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle dans le bassin de la Djiri de 1981-2010



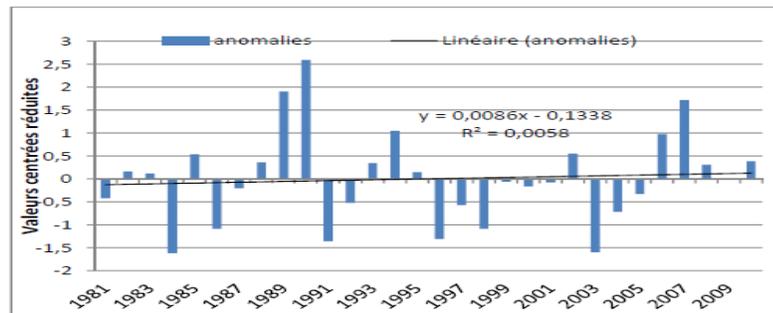
Source :

ANAC-Brazzaville

2.2. Variabilité interannuelle de la pluviométrie dans le bassin versant de la Djiri

La variabilité interannuelle de la pluviométrie du bassin versant de la Djiri est assez importante. Dans l'ensemble du pays, la variabilité interannuelle relative est comprise entre 10 et 45%. La variabilité des anomalies centrées réduites permet de décrire l'évolution interannuelle des pluies dans le bassin et de déterminer les modalités temporelles sur l'ensemble du bassin et par station. Ces paramètres (anomalies standardisées, tendance, ruptures de stationnarité) permettent de mettre en évidence les années humides et sèches d'une part et les éventuels changements qui ont affecté l'évolution des précipitations dans le bassin versant d'autre part.

Figure 3 : Variabilité interannuelle des précipitations dans le bassin versant de la Djiri de 1981 à 2010 en écarts centrés réduits (Source : ANAC-Brazzaville)



Source : ANAC-Brazzaville

La Figure 3 qui traduit la variabilité interannuelle des précipitations, présente une légère hausse sur la période 1981-2010. Cette hausse est relative d'une décennie à l'autre. C'est pourquoi, on observe une évolution pluviométrique au début de la décennie 1980. Les indices pluviométriques négatifs ($I_p < 0$) indiquent les années à pluviosité déficitaire et les indices pluviométriques positifs ($I_p > 0$) montrent les années à pluviosité excédentaire.

La répartition des années à pluviosité excédentaire, déficitaire et normales enregistrées dans le bassin versant de la Djiri, pendant la période 1981 à 2010 sont classées dans le tableau ci-dessous

Tableau 1 : Les années exceptionnelles enregistrées dans le bassin versant de la Djiri de 1981 à 2010

Années déficitaires				Années normales			Années excédentaires			
1981	1984	1986	1987				1982	1983	1985	1988
1991	1992	1996	1997	1999			1989	1990	1993	1994
1998	2000	2003	2004		2001		1995	2002	2006	2007
2005						2009	2008	2010		
43 %				10 %			47 %			

Source : ANAC-Brazzaville

En analysant le tableau 1, bassin versant de la Djiri a connu plus d'années à pluviométrie excédentaire (47%) que d'années à pluviométrie déficitaire (43%) sur la période 1981-2010. Les 47% d'années excédentaires laissent comprendre que cela est à l'origine de la tendance à la hausse des pluviométries (Figure 3). La rupture dans les séries chronologiques des pluies (Figure 4) est intervenue au cours de l'année 2005 dans le bassin versant de la Djiri.

2.3. Déficiets de la pluviométrie dans le bassin versant de la Djiri

Les déficits enregistrés lors des mois pluvieux dans le bassin versant de Djiri sont représentés dans le tableau 2. L'analyse de ce tableau permet de dire que les mois pluvieux (d'octobre à mai) fournissent en moyenne 96% de la pluviométrie annuelle de la période 1981-2010. Les déficits pluviométriques de la décennie 1991-2000 sont plus élevés que ceux de la décennie 2001- 2010, surtout aux mois d'octobre, de novembre, d'avril et de mai où ils sont plus accentués.

Tableau 2 : Déficit de la pluviométrie mensuelle au cours des saisons OND et MAM dans le bassin versant de la Djiri

Mois	Pluviométrie moyenne mensuelle (mm)				Déficit 91-00
	1981-2010	1981-1990	1991-2000	2001-2010	
O	158,63	149,36	135,56	188,79	-9%
N	262,33	269,17	248,88	269,02	-7 %
D	184,9	175,95	180,47	198,77	2%
M	185,3	173,95	193,39	188,48	11%
A	193,95	210,45	175,41	196,1	-16%
M	145,20	162,1	145,63	127,87	-10%
Total	1130,31	1140,98	1079,34	1169,03	-0,29%

Source : ANAC-Brazzaville

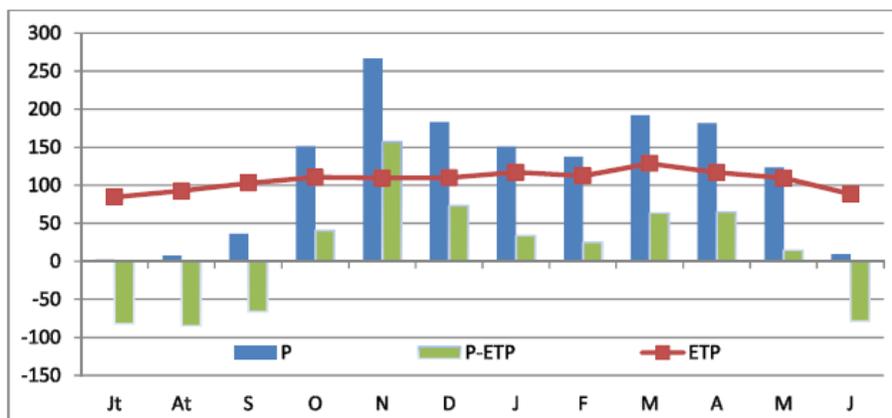
2.4. Bilan climatique dans le bassin versant de la Djiri

La Figure 4 présente les variations saisonnières du bilan climatique (saisons sèches et humides) réalisé au pas de temps mensuel dans le bassin versant de la Djiri. Elle donne en particulier les périodes de disponibilité en eau dans le bassin versant.

Le bilan moyen mensuel met en évidence deux phases :

- Une période humide de huit mois (octobre à mai) où l'ETP moyenne mensuelle est inférieure à la pluviométrie mensuelle, période où interviennent les maxima pluvieux, en novembre qui comptabilise 262,33 mm de la pluviométrie annuelle dans le bassin de Djiri. Cette période est déterminante pour l'alimentation des réservoirs souterrains ;

Figure 4 : Variation saisonnière du bilan climatique moyen dans le bassin versant de la Djiri de 1981 à 2010



Source : ANAC-Brazzaville

- Une période sèche de quatre mois (juin à septembre) au cours de laquelle la demande évaporatoire est importante, mais très marquée pendant les mois de juin, juillet et août où le bilan mensuel est déficitaire ($P < ETP$) (Figure 4). Au cours de ces quatre mois, les précipitations sont inférieures à la moitié de l'ETP, ce qui entraîne un assèchement des réserves du sol et un amenuisement progressif du niveau d'eau.

Le bilan climatique annuel est excédentaire sur l'ensemble de ce bassin versant, à l'exception des années 1996 et 2009 où il est déficitaire. Cela s'explique par le phénomène du réchauffement climatique constaté ces dernières décennies.

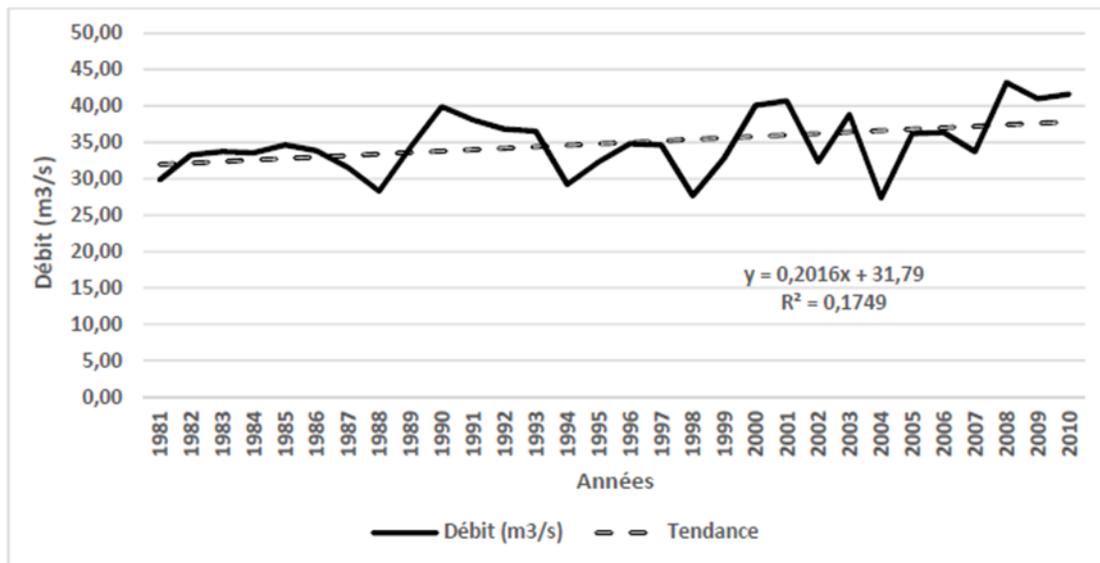
Au premier plan du déficit, une partie de l'eau provient du sol ; mais cette contribution du sol diminue à mesure qu'il s'assèche. Depuis le début de la décennie 1980 jusqu'à 2010, la disponibilité en eau dans le bassin est donc en nette augmentation, avec une forte variation de la pluviométrie et une évapotranspiration en augmentation.

La Figure 4 montre que la somme des valeurs de l'ETP étant inférieure à celle des lames d'eau précipitée, cette baisse pourrait être provoquée par la variation de la température et du rayonnement solaire dans le bassin versant. Cependant cette baisse de l'ETP sur le bassin en 1997, 1998 et 2004 avec une pluviosité aussi importante traduit une mauvaise répartition sur l'ensemble. Par contre les autres années, l'écart important entre la pluie et l'ETP annuelle n'empêche pas cependant les mois d'octobre à mai de recevoir des quantités d'eau supérieure à l'ETP (Figure 4). L'eau peut être stockée dans le sol et constituée une réserve pour les mois déficitaires (juin, juillet août et septembre). L'importance de cette mise en réserve dépend du bilan P-ETP, mais aussi des possibilités de rétention du sol.

2.5. Modules annuels dans le bassin versant de Djiri

L'étude de l'évolution interannuelle des débits moyens annuels (Figure 5) a permis d'analyser les variations d'écoulement de la Djiri sur la période de 1981 à 2010.

Figure 5 : Variabilité interannuelle du débit moyen de la Djiri de 1981 à 2010



Source : GRSEN

La Figure 5 présente de faibles débits moyens annuels pendant les deux premières décennies de la période d'étude (1981 à 1999) et des forts débits moyens annuels de 2000 à 2010, avec quelques fluctuations des écoulements très marquées en 2004 avec un débit annuel de 24,9 m³/s. D'une manière globale, les débits moyens annuels de la rivière Djiri sont à la hausse de 1981 à 2010 comme l'indique la courbe de tendance linéaire en pointillé sur la Figure 5. Cette tendance traduit une amélioration du système hydrologique tributaire à la hausse confirmée par la tendance à la hausse des pluviométries observées dans le bassin versant de la Djiri. L'évolution à la hausse du débit de la rivière Djiri montre que le débit ne dépend pas seulement de la pluie, mais aussi d'une alimentation souterraine pendant la saison non pluvieuse.

2.6. Impacts des fluctuations pluviométriques sur l'écoulement du bassin versant de la Djiri

La tendance à la hausse des précipitations constatée dans le bassin versant de la Djiri semble s'être stabilisée ces dernières années, alors que l'écoulement de la rivière continue à croître dans les mêmes proportions importantes (Figure 6). Le déficit pluviométrique observé dans le bassin versant de la Djiri entre les périodes 1991-2000 et 2001-2010 est de 50%.

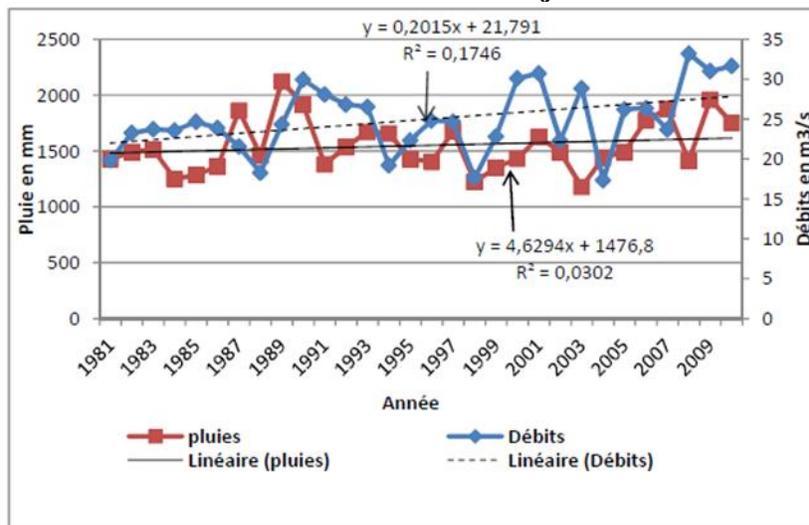
Les déficits de la pluviosité enregistrés dans le bassin versant de la Djiri s'accompagnent de déficits d'écoulement entre les deux périodes respectivement de 3 et 9 %, soit plus de dix fois le déficit pluviométrique observé.

Il ressort de cette analyse que les déficits pluviométriques observés au cours des décennies 1980 et 1990, s'amplifient considérablement dans les écoulements de la rivière Djiri.

A des déficits pluvieux de 30 à 60 %, correspondent des déficits d'écoulement se situant entre 3 et 9 %. Les déficits pluvieux se répercutent très faiblement dans la recharge des aquifères du bassin versant de la Djiri qui dispose d'un important réservoir d'eau entretenu par 87% des sables des Plateaux Batéké et par 13% des grès du Stanley Pool.

L'influence de la tendance à la hausse de la pluviométrie annuelle sur l'évolution des débits annuels du bassin versant de la Djiri est mise en évidence par la représentation graphique comparée des deux termes du bilan hydrologique (Figure 6).

Figure 6 : Tendance pluviométrique annuelle et tendance des débits annuels dans le bassin versant de la Djiri



Source : ANAC et GRSEN Brazzaville

L'analyse de la Figure 6 permet de dire que les deux tendances sont du même sens mais pas de même allure. La tendance linéaire des débits moyens annuels est plus prononcée que celle des pluies annuelles.

L'impact des fluctuations pluviométriques sur les écoulements dans le bassin versant de la Djiri à l'échelle mensuelle a été démontré à travers le tableau récapitulatif comparatif (tableau 3) des

déficits pluviométriques et des débits au niveau des mois pluvieux qui contribuent à l'écoulement de la rivière Djiri.

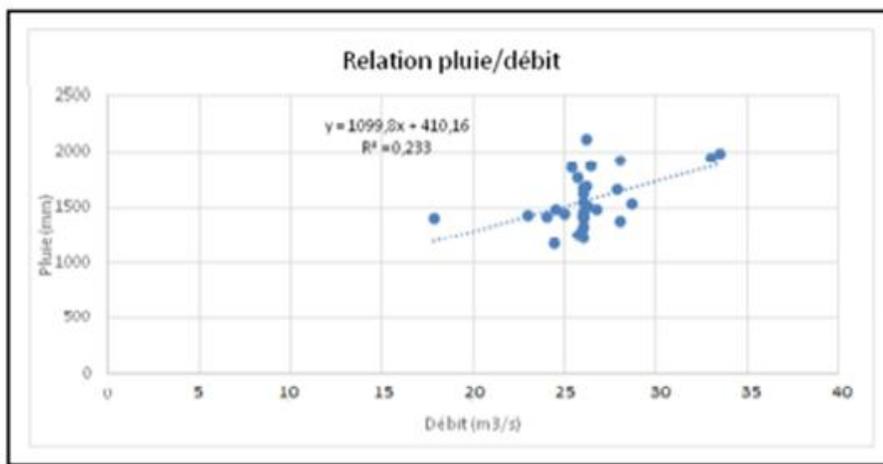
Tableau 3 : Corrélation des déficits pluviométriques sur les débits mensuels des saisons OND et MAM dans le bassin versant de la Djiri de 1981 à 2010.

	Pluviométrie en mm				Débits (m ³ /s)			
	81-90	91-00	01-10	Déficit 81-90	81-90	91-00	01-10	Déficit 91-00
Oct.	149,36	135,56	188,79	-9 %	26,2	26,3	25,9	-1,5%
Nov.	269,17	248,88	269,2	-7%	26,5	26,6	26	-2,25%
Déc.	175,95	180,47	198,77	2%	26,5	26,5	26,2	-1,13%
Mars	173,95	193,39	188,48	11 %	26,3	26,5	26,6	0,4%
Avril	210,45	175,41	196,1	-16%	26,5	26,5	25,9	-2,26%
Mai	162,1	145,63	127,87	-10%	26,5	26,8	26,2	-2,26%
Total	1130,31	1140,9	1079,3	-0,3%	158,5	159,2	130,6	0,09%

Source : ANAC-Brazzaville

Les régimes des cours d'eau d'Afrique tropicale sont directement influencés par un effet amplificateur et un effet de retard par celui des pluies. Les fonctionnements hydrologiques sont souvent calqués sur le régime des précipitations, notamment en régime tropical. La différence de fonctionnement hydrologique observée dans les sous-bassins est probablement due aux caractéristiques propres à chaque espace géographique, notamment les caractéristiques géologiques des sous-bassins et les états de surface (formations superficielles, état de la végétation). Les résultats du tableau 3 confirment ceux obtenus par les travaux de G. Mahé et J. C. Olivry (1995, pp.114 -115), qui ont montré qu'il y a eu un déficit important dans les années 1972 et 1973. Il est à noter qu'aucune utilisation humaine ne participe à cette hausse de l'écoulement observé dans le bassin. La corrélation Pluie/Écoulement (Figure 7) n'est pas significative comme l'indiquent les valeurs de coefficients de détermination variant entre 0,4 et 0,70.

Figure 7 : Corrélation Pluie/Écoulement dans le bassin versant de la Djiri



Source : ANAC et GRSEN Brazzaville

Mais elle dépend à 40% des lames d'eau précipitée. Ainsi tout apport liquide dans le bassin versant de Djiri dépend avant tout des précipitations.

2.7. Bilan hydrologique

Le bassin versant de la Djiri est recouvert en grande partie par les forêts galeries, il est suffisamment arrosé de 1470 mm/an. Son déficit d'écoulement est de 968 mm, son module spécifique est de 26,8 l/s/km². La rivière Djiri coule sur des zones couvertes des séries gréseuses et sableuses qui sont très perméables et le mode d'écoulement est l'infiltration (764 mm/an). La formation d'une zone d'accumulation des eaux, dans ce bassin versant est due à la dominance des sables. C'est ainsi que le bassin hydrologique de la Djiri constitue le principal réservoir en eau (N. Moukolo, 1992, p.81). Les sables ont un rôle modérateur sur les modules hydrologiques de la Djiri. Ils ont aussi un effet sur la répartition saisonnière des apports en eau dans ce bassin, ce qui traduit une forte valeur de la lame d'eau écoulée de 956 mm et une faible valeur du déficit d'écoulement. Le coefficient de corrélation dans l'ensemble de ce bassin versant est de 0,4. 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 - Décembre).

3. Discussion

Cette étude expose la dynamique des régimes hydro-climatiques et la réalité des déficits récents qui se font observer, et liés, notamment au climat. Elle analyse l'évolution du bilan climatique et de l'écoulement dans le bassin hydrologique.

Elle interprète le fonctionnement hydroclimatique du bassin versant de la Djiri en insistant sur l'impact des fluctuations pluviométriques sur les termes du bilan hydrologique (évaporation, écoulement et infiltration ou recharge).

Les résultats obtenus au cours de cette étude épousent, ceux de tout le plateau Téké, trouvés par A. Laraque et *al.*, (1998, p.218) qui affirment que le plateau Téké est la zone la plus arrosée du Congo. Les conclusions des travaux antérieurs réalisés sur les affluents de la rive droite du fleuve Congo par V. Babet (1930, p.71) ; P. Darnault (1947, p.47) ; J.C. Olivry (1967, p.62), D. Schwartz (1988, p.67) et J.E. Paturel et *al.* (1998, p.941) confirment dans leur étude que les années 1970 constituent une période très représentative de l'importante chute de la pluviométrie de façon progressive. Ce même constat a été fait en Afrique équatoriale atlantique par J.D. Maloba Makanga et G. Samba (1997, p.42) et G. Ibiassi Mahoungou (2012, p.80), qui remarquent que ces années marquent par ailleurs le début d'une évolution pluviométrique à la baisse. Les années 1981 – 2010 sont

caractérisées par une alternance d'anomalies positives et négatives alors que les années 1971-1980 sont représentées par une tendance à la hausse pluviométrique.

L'Afrique centrale est caractérisée par une médiocre structuration spatiale des pluies interannuelles. Une étude des corrélations inter-stationnelles révèle que celles-ci sont plus faibles que dans le reste de l'Afrique tropicale. Ceci se double, sauf sur la côte atlantique, d'une amplitude faible des variations interannuelles des pluies. Malgré un régime pluviométrique contrasté dans le bassin versant, les débits de la rivière Djiri sont influencés par les pluies pendant la saison des pluies. Cette rivière est alimentée pendant la saison sèche par la nappe aquifère qui joue un rôle prépondérant grâce à sa formation géologique constituée essentiellement de sable et sa couverture végétale qui donnent des réponses aux écoulements pendant cette saison.

La Djiri draine un bassin versant d'environ 980 km² à sa confluence avec le Congo à quelques encablures de Djiri avec un débit interannuel évalué à 24,9 m³/s pour la série de 1981 à 2010 et un débit spécifique de 26,8 l/s/km². A. Laraque et *al.*, (1998, p.218) ont trouvé un module de 25 m³/s entre 1983 et 1993. Au cours de l'année les débits mensuels sont peu contrastés à cause des débits minimaux restant élevés, même en saison sèche. En effet, pendant la saison sèche les débits oscillent entre 25,4 et 28,3 m³/s. Les crues sont très amorties et les étiages atténués à cause des formations géologiques sableuses. Le coefficient de variation saisonnière est évalué à 1,3. Cette faible valeur reflète le comportement du régime hydrologique régulier des cours d'eau Batéké drainant les formations géologiques sableuses et sablo-gréseuses, très perméables, ayant une grande capacité de stockage et de régulation au niveau de la nappe aquifère. Pour la série 1956 à 1990, M.J. Samba Kimbata (1991, p.102) trouve une valeur de 1,1.

A. Laraque et A. Pandi (1996, p.857) obtiennent des résultats compris entre 1,1 et 1,5 pour les rivières Téké ; et J.C. Olivry (1967, p.45) une valeur de 1,15. La lame d'eau équivalente a été évaluée à 956 mm de 1981 à 2010. Elle est de 919,2 mm pour la période 1987 à 1993 d'après les chercheurs de l'ORSTOM. J.C. Olivry (1967, p.34) obtient 887mm. Pour notre période d'étude le déficit d'écoulement est évalué à 899,6 mm. Le débit spécifique de Djiri est de 26,8 l/s/km² et son coefficient d'écoulement de 55% de 1981 à 2010. Ces fortes valeurs sont propres aux rivières Tékés coulant sur des matériaux sableux ou sablo-argileux.

La raison est que les sables se saturent plus vite que les autres formations géologiques (M.J. Samba Kimbata, 1991, p.111). La corrélation entre les pluies tombées et les écoulements est très faible (0,4) dans l'ensemble du bassin versant de la Djiri. L'identité régionale de ce cours d'eau

et sa différenciation, précédemment établies sur la base de critères physiographiques et climatiques, doivent être examinées sur le plan de son fonctionnement hydrologique.

Cette rivière présente un coefficient d'écoulement de 55 % et un débit spécifique de 26,8 l/s/km² élevés, avec une variation saisonnière élevée. Ces caractéristiques ont permis de régionaliser les fonctionnements hydrologiques de ce bassin versant, l'important aquifère des plateaux gréseux perméables, efface la variabilité saisonnière de la pluviométrie dans la Djiri. Il recouvre un important aquifère régulateur sablo-gréseux couvert de savane et bénéficie d'un pouvoir de rétention très particulière.

Conclusion

L'analyse des paramètres hydroclimatiques sur l'ensemble du bassin versant de la Djiri pendant les 30 années d'observation (1981 à 2010) explique une répartition des années à pluviosités excédentaires (1982, 1983, 1985, 1988, 1989, 1990, 1993, 1994, 1995, 2002, 2006, 2007, 2008 et 2010 soit 47 %), déficitaires (1981, 1984, 1986, 1987, 1991, 1992, 1996, 1997, 1998, 2000 et 2005 soit 43 %) et normales (1999, 2001, 2009 soit 10 %) enregistrées dans cet espace géographique.

Le bilan moyen mensuel confirme deux phases une période humide de huit mois (octobre à mai) où l'ETP moyenne mensuelle est inférieure à la pluviométrie mensuelle et une période sèche de quatre mois (juin à septembre) au cours de laquelle la demande évaporatoire est importante, mais très marquée pendant les mois de juin, juillet et août où le bilan mensuel est déficitaire ($P < ETP$). L'évolution interannuelle des débits moyens annuels permet d'analyser les variations d'écoulement de la Djiri sur la période de 1981 à 2010 et présente des faibles débits moyens annuels pendant les deux premières décennies de la période d'étude (1981 à 1999) et des forts débits moyens annuels de 2000 à 2010, avec quelques fluctuations des écoulements très marquées en 2004 avec un débit annuel de 24,9 m³/s. D'une manière globale, les débits moyens annuels de cette rivière sont à la hausse de 1981 à 2010. Cette tendance traduit une amélioration du système hydrologique tributaire à la hausse confirmée par la tendance à la hausse des pluviométries mentionnée dans l'analyse de la Figure 6. Cette évolution à la hausse des débits de la rivière Djiri montre que ces débits ne dépendent pas seulement des pluies, mais aussi d'une alimentation souterraine pendant la saison non pluvieuse.

Références bibliographiques

ACERO Francisco Javier, GRACIA José Agustín et GALLEGO María Cruz, 2011, « Peaks-over-threshold study of trends in extreme rainfall over the Iberian Peninsula ». *Journal of Climate*, Vol. 24, N° 4, pp.1089 - 1105.

AKA André, KOUAME Brou, PATUREL Jean Emmanuel, SERVAT Eric, LUBES Hélène, MASSON Jean Marie, 1996, « Analyse statistique de l'évolution des écoulements en Côte d'Ivoire ». L'hydrologie tropicale: géoscience et outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris, mai 1995). IAHS Pub, N°238, pp.167-177.

AMOUSSOU Ernest ; TOTIN VODOUNON Sourou Henri ; ALLAGBE Simone ; KODJA Japhet, AKOGNONGBE Sègla Josué Arsène ; SOHOU Brice, VISSIN Expédit Wilfrid, BOKO Michel, HOUNDENOU Constant, MAHE Gil, 2015, *Péjoration climatique et dynamique hydroécologique dans le bassin-versant du fleuve Ouémé à Bonou au Bénin*. Conférence internationale sur l'hydrologie des grands bassins fluviaux de l'Afrique (Hammamet, Tunisie, 26-30/10/2015). Paris : UNESCO, 32 p.

AMOUSSOU Enerst, 2010, *Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest)*. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université de Bourgogne, 313 p.

AMRAOUI Laïla, 2011, *Évolution climatique récente en Afrique du Nord-Ouest (Maroc, Mauritanie et leur proche océan entre 1950 et 2008)*, Thèse de l'Université Jean Moulin - Lyon III, (2011), 312 p.

ARDOIN-BARDIN [Sandra](#), 2004, *Variabilité hydro-climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, 437 p.

BABET Victor, 1930, *Etude géologique de la zone du chemin de fer Congo océan et de la région minière du Niari et du Djoué*, Larousse, Paris. 176 p.

BATES Bryson Craig, KUNDZEWICZ Zbigniew Władysław, WU Shaohong et PALUTIKOF Jean, 2008, *Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.

BIGOT Sylvain, BROU Yao Téléphore, OSZWAID Johan, DIEDHIOU Arona, 2005, « Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales ». *Secheresse*, vol. 16, n° 1, pp.5-13.

DADET Pierre, 1969, *Notice explicative de la carte géologique de la République du Congo Brazzaville au 1/500.000*, mémoire du BRGM n°70, Congo Brazzaville, ORSTOM, 103p.

DARNAULT Paul, 1947, *Régime de quelques cours d'eau d'Afrique équatoriale et étude de leur utilisation industrielle*. 134 p.

GIEC, 2019, *Lutter contre le changement climatique, c'est lutter contre la pauvreté, Rapport du GIEC*, 36 p.

HOMAR Victor, RAMIS Climent, ROMERO Romualdo et ALONSO Sergio, 2010, « Recent trends in temperature and precipitation over the Balearic Islands (Spain) ». *Climatic Change*, Vol. 98, pp.199 - 211.

HUBERT Pierre, CARBONNEL Jean Pierre, CHAUCHE Ali, 1989, « Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest ». *J. of Hydrology*, 110, pp 349-367.

IBIASSI-MAHOUNGOU Geoffroy, 2012, *Variabilité pluviométrique au Congo et relation avec la dynamique océanique et atmosphérique (1950 à 2005)*, Thèse de Doctorat, Université Marien Ngouabi, 356 p

KOECHELIN Jean, 1961, *La végétation des savanes du Sud de la République du Congo (Capitale Brazzaville)*. Thèse d'Etat, Université de Montpellier, n° 220, 310 p.

LARAQUE Alain, MIETTON Michel, OLIVRY Jean Claude, PANDI Albert, 1998, « Influence des couvertures lithologiques et végétales sur les régimes et la qualité des eaux des affluents congolais du fleuve Congo », *Revue des Sciences de l'Eau, ORSTOM*, pp.209-224.

LARAQUE Alain et PANDI Albert, 1996, « Rôle des données physiographiques dans la classification hydrologique des affluents congolais du fleuve Congo-Zaïre ». *C.R. Acad. Sc. Paris*, t.323 série IIa, pp. 855-858.

LE MARECHAL Alain, 1966, *Contribution à l'étude des plateaux Batéké ; géologie, géomorphologie hydrogéologie*. Rapp. ORSTOM- Brazzaville Cote M.C.137, 43p.

MAHE Gil et OLIVRY Jean Claude, 1995, « Variation des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale de 1951 à 1989 », *Sécheresse*, 6(1), pp.109-117.

MALOBA MAKANGA Jean Damien et SAMBA Gaston, 1997, « Organisation pluviométrique sur l'espace Congo-Gabon (1950-1998) ». *Sécheresse*, N°1, vol 8, pp 39-45.

MASSOUANGUI KIFOUALA Martin, 2014, *Aléas pluviométriques et pratiques paysannes dans les pays du Niari (République du Congo)*. Thèse de Doctorat. Université Marien Ngouabi, 271 p.

MOUKOLO Noël, 1992, *Hydrogéologie du Congo*. Document du BRGM, N°210.Ed. BRGM. Orléans, 128 p.

OGOUWALE Sylvestre; CAPO ATIDEGLA Séraphin and SINTONDI Luc Ollivier, 2021, « Déterminants hydroclimatiques et disponibilités des ressources en eau superficielles dans le sous bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de nano au Bénin ». *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 13(1), pp. 290-303.

OLIVRY Jean Claude, 1967, *Régimes hydrologiques des rivières Batékés (Léfini, Alima, Nkéni)*. ORSTOM - Brazzaville. 52 p.

OUEDRAOGO Mahaman, 2001, *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, 257 p.

PATUREL Jean-Emmanuel, SERVAT Éric, KOUAME Brou, TRAVAGLIO Michel, LUBES Hélène, MARIEU Bertrand, MASSON Jean Marie, 1998, « Variabilité des régimes pluviométriques et hydrologiques en cette fin de siècle en Afrique de l'ouest et centrale non sahéenne ». *Journal des sciences hydrologiques* 43(6), pp.937-946.

POCCARD Isabelle, 2000, *Etude diagnostique de nouvelles données climatiques : les réanalyses. Les exemples d'application aux précipitations en Afrique tropicale*. Thèse de Doctorat Univ.de Bourgogne, Dijon. 236p.

SAMBA-KIMBATA Marie Joseph, 1991, *Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges*. Thèse pour le Doctorat d'État, Université de Bourgogne. Centre de recherches de climatologie, Dijon, 241p.

SAMBA KIMBATA Marie Joseph, 1978, *Le climat du Bas-Congo*, Thèse de 3ème cycle, Université de Bourgogne, Dijon, 280p.

SCHWARTZ Dominique, 1985, *Histoire d'un paysage : Le Lousséké paléoenvironnements quaternaires et podzolisation sur sables Batéké*. Thèse Doct. Univ. Nancy 1, 211 p.

SERVAT Éric, PATUREL Jean-Emmanuel, KOUAME Brou, TRAVAGLIO Michel, OUEDRAOGO Mahaman, BOYER Jean-François, LUBES Hélène, FRISTCH Jean-Marie, MASSON JEAN-MARIE ; MARIEU Bertrand, 1998, « Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale ». In : *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century*, IAHS Publications, n° 252, pp 323-337.

SIROULOU Jacques, 1976a, « Données hydro-pluviométriques de la sécheresse récente en Afrique Intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 », cahier. ORSTOM, série Hydrology. Vol. XII, 2. pp.75-174.

TAPSOBAT Dominique, 1997, *Caractérisation événementielle des régimes pluviométriques ouest africains et de leur récent changement*. Thèse de Doctorat, Université. Paris XI (ORSAY), 300p.

VISSIN Expédit Wilfrid, 2007, *Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger*. Thèse unique de doctorat, Université de Bourgogne, 285 p + annexes.

Auteur

¹Géographe, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université Marien Ngouabi
Brazzaville, République du Congo, medngouala@yahoo.fr