

FLUCTUATIONS DES PRÉCIPITATIONS ET DES ÉCOULEMENTS DANS LE BASSIN VERSANT DE L'ALIMA A TCHIKAPIKA AU CONGO-BRAZZAVILLE EN AFRIQUE CENTRALE DE 1960 - 1993

**Jean Armand PAKA^{1,2*}, Destyles Van KOMBYLA¹, Barthel KOUA
BITA¹, Jean Bienvenu DINGA², Salisou YALLO MOUHAMED³,
Ernest AMOUSSOU⁴ et Marie Joseph SAMBA - KIMBATA¹**

¹ *Université Marien NGOUABI, Faculté des Lettres et des Sciences
Humaines, Laboratoire de Géographie Physique, BP 69 Brazzaville, Congo*

² *Institut National de Recherches en Sciences Exactes et Naturelles, Avenue
de l'Auberge de Gascogne, Cité Scientifique (ex-ORSTOM), Château d'Eau,
Brazzaville, Congo*

³ *Institut National de Recherche Forestière Avenue de l'Auberge de Gascogne,
Cité Scientifique (ex-ORSTOM), Château d'eau, Brazzaville, Congo*

⁴ *Université Abomey Calavi, Laboratoire Pierre PAGNEY Climat, Eau,
Ecosystèmes et Développement, Cotonou, Bénin*

* Correspondance, e-mail : graceliapaka@gmail.com

RÉSUMÉ

L'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin de la rivière Alima à Tchikapika porte sur les chroniques de la période 1960-1993. Les données hydrométriques enregistrées à la station de Tchikapika ont été soumises à deux tests non paramétriques afin de déterminer les ruptures de stationnarité et leur degré de signification. L'analyse révèle que la modification du régime des précipitations s'est traduite plus nettement par une diminution brutale des quantités d'eau précipitée au cours de la décennie 70. La baisse pluviométrique concerne les hauteurs mensuelles des mois de juin, juillet, août et septembre (donc au cœur de la saison sèche) qui sont de moins en moins arrosés. Par ailleurs, les effets de cette importante baisse pluviométrique sur les écoulements sont très remarquables. Le déficit pluviométrique est largement amplifié dans les écoulements et les recharges de la rivière. Il représente environ le tiers (1/3) du déficit d'écoulement dans la quasi-totalité des rivières du plateau Téké et même du Congo en général.

Mots-clés : *bassin versant, Alima, variabilité pluviométrique, déficit d'écoulement, Congo.*

ABSTRACT**Fluctuations of precipitation and flows in the basin of Alima in Tchikapika in Congo-Brazzaville in central Africa 1960 - 1993**

The study of the variability of precipitations and the flows in the basin of the Alima river in Tchikapika relates to the chronicles of the période 1960-1993. The hydrometric data recorded at the station of Tchikapika were subjected to two nonparametric tests in order to determine the ruptures of stationnarity and their degree of significance. The analysis reveals that the modification of the mode of precipitations resulted more clearly in a brutal reduction in the quantities of water precipitated during decade 70. The pluviometric fall relates to the monthly heights of July, June, August and September (thus in the middle of the season dries) which are less and less sprinkled. In addition, the effects of this important pluviometric fall on the flows are very remarkable. The rainfall deficit is largely amplified in the flows and the refills of the river. It represents approximately the third (1/3) deficit of flow in the near total of the rivers of the Téké plate and even of Congo in general.

Keywords : *catchment area, Alima, pluviometric variability, deficit of flow, Congo.*

I - INTRODUCTION

La baisse pluviométrique observée depuis plus de vingt ans en Afrique en général et Afrique centrale en particulier, perturbe fondamentalement toutes les activités humaines (Pérard et al., 2001). Le diagnostic de ce phénomène à travers diverses analyses régionales avec des approches méthodologiques différentes atteste d'une importante diminution des précipitations annuelles. De la même manière, les ressources en eau liées au régime pluvial (tout cycle confondu) présentent une forte variabilité aussi bien dans leur abondance que dans leur répartition saisonnière et spatiale. La définition des moyens à mettre en œuvre pour leur exploitation optimale suppose de pouvoir en dresser un inventaire avec l'hypothèse de la « rupture » de stationnarité des précipitations produites vers les années 70 sur l'ensemble de l'Afrique tropicale (Fontaine, 1986) ; et au Congo-Gabon en particulier (Maloba Makanga et Samba., 1997). Après 1970, l'impact de cette variabilité pluviométrique s'est traduit par une modification du régime hydrologique et une baisse de la production agricole et halieutique. Cette situation pose le problème de la forte sensibilité des systèmes hydrologiques au forçage pluviométrique. Le but de cette étude est de mettre en évidence les « fluctuations » observées dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin de la rivière Alima, un

affluent du fleuve Congo et de montrer le poids des mois les plus pluvieux dans la baisse pluviométrique et hydrologique de ces dernières années. Le bassin versant de l'Alima qui couvre une superficie de 20.070 km² à Tchikapika bien qu'il existe d'autres cours d'eau comme : le Djoué, la Djiri, la Léfini, la Nkéni et la Mpama issus du même château d'eau des plateaux Téké. La **Figure 1** présente la localisation du bassin versant de l'Alima.

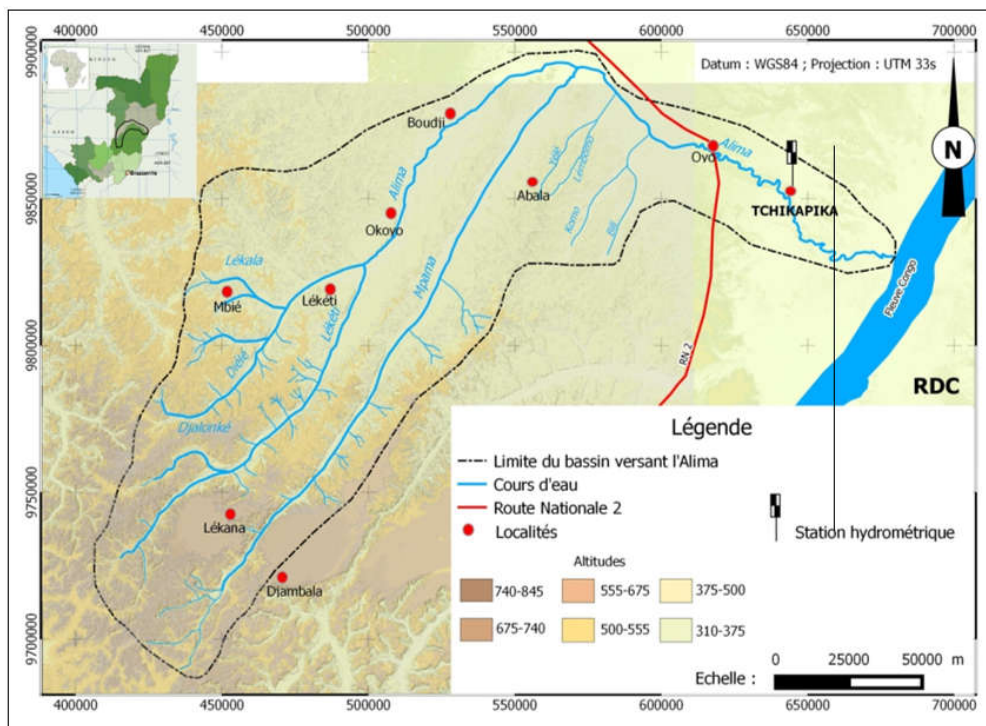


Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'Alima

La station hydrométrique installée à Tchikapika sur l'Alima le 08 mars 1952 est située à 310 m d'altitude. Le bassin versant s'étend sur une superficie de 20.070 km² entre les latitudes 0°18' et 1° 05'S et les longitudes 13° et 16°10'E (**Figure 1**). Avant d'atteindre la station de Tchikapika la rivière Alima reçoit : la Dziélé, la Lékala, la Léketi sur la rive gauche, la Mpama, la Lembomo et la Dialatsé sur la rive droite, L'Alima présente dans l'ensemble un profil très rajeuni avec une pente forte. En détail. L'Alima se caractérise par une certaine hétérogénéité dans son profil, marqué par un encaissement et une rapidité en zones de savane et de forêts (mésophiles et inondées) et un élargissement considérable. Dans la cuvette congolaise, ce bassin versant est soumis au climat subéquatorial qui se caractérise par deux saisons bien marquées : une saison sèche (juin-septembre) et une saison des pluies (octobre – mai).

II - MÉTHODOLOGIE

Les données utilisées pour cette étude sont celles du service météorologique de l'ANAC et du service hydrologique de l'IRSEN à Brazzaville. Après critiques et vérification, celles présentant beaucoup de lacunes ont été purement écartées afin d'éviter de changer nos objectifs. Pour étudier les variations hydro climatiques, 4 stations pluviométriques ont été retenues à savoir : Djambala et Lékana et une station hydrométrique qui est celle de Tchikapika pour l'Alima. Ces données pluviométriques et hydrologiques ont été soumises aux différentes analyses statistiques classiques (moyenne, écart-type et coefficient de variation). La recherche de l'homogénéité dans les séries, nous a conduits à retenir la période 1960-1993. Nous avons considéré un maximum de stations pour pallier l'insuffisance du réseau pluviométrique du bassin, de manière à couvrir le plus vaste espace géographique possible, pour les besoins de cartographie. En effet, la rivière Alima avait deux stations hydrométriques, mais seule de Tchikapika est fonctionnelle jusqu'à ce jour. L'approche de Pettitt (1979) a permis de tester la significativité des ruptures dans les séries pluviométriques (**Figure 2**) et hydrométriques (**Figure 5**) considérées à partir d'une hypothèse nulle. Ce test est réputé pour sa robustesse (Lubes et al, 1994). Il est non paramétrique (Paturel et Servat, 1996) et permet de mesurer le degré de signification de la tendance et les ruptures de stationnarité dans les séries pluviométriques et hydrométriques sur la période 1960-1993. Pour la réalisation de la carte hydrographique, des modèles altimétriques numériques ont été téléchargées et traités à l'aide du logiciel QGIS. Le traitement a consisté d'abord à fusionner les différentes couches de données SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) couvrant la zone d'étude. La couche de fusion obtenue a ensuite été traitée par analyse spatiale afin de générer une couche de relief à 6 classes d'altitude. Cette couche a servie à délimiter le bassin versant et à dessiner les cours d'eau (Miller, 2017).

III - RÉSULTATS

III-1. Variabilité pluviométrique

Les déficits pluviométriques marqués de variable commencent en 1972 pour la station de Lékana et en 1977 pour celle de Djambala (**Figure 2**). Une recrudescence sensible de la sécheresse s'est manifestée dans les deux stations pluviométriques retenues. On note une multiplication des anomalies négatives. Les anomalies positives sont nettement plus fréquentes avant 1972 et avec les événements exceptionnels des années (1979, 1980, 1982, 1989,1990) marquées par un net excédent pluviométrique. L'application du test de Pettitt (**Figure 3**) sur la série pluviométrique de 1960 à 1993 dans le bassin versant de l'Alima montre clairement la présence d'un changement en 1972, d'ailleurs déjà signalé par d'autres auteurs (Mahé et Olivry., 1995 ; Vissin et al, 2003). On

note aussi une décroissance significative dans l'ensemble du bassin versant. Il n'existe pas de rupture secondaire dans la série 1960-1993 (**Figure 3**). L'évolution des précipitations moyennes inter mensuelles dans le bassin versant de l'Alima nous montre les deux périodes (excédentaire et déficitaire) (**Figure 4**) indique une saison pluvieuse très arrosée avec un maximum au mois de novembre avec une moyenne de 277mm d'environ et une saison sèche de 4 mois, très accentuée au mois de juillet (23mm d'eau).

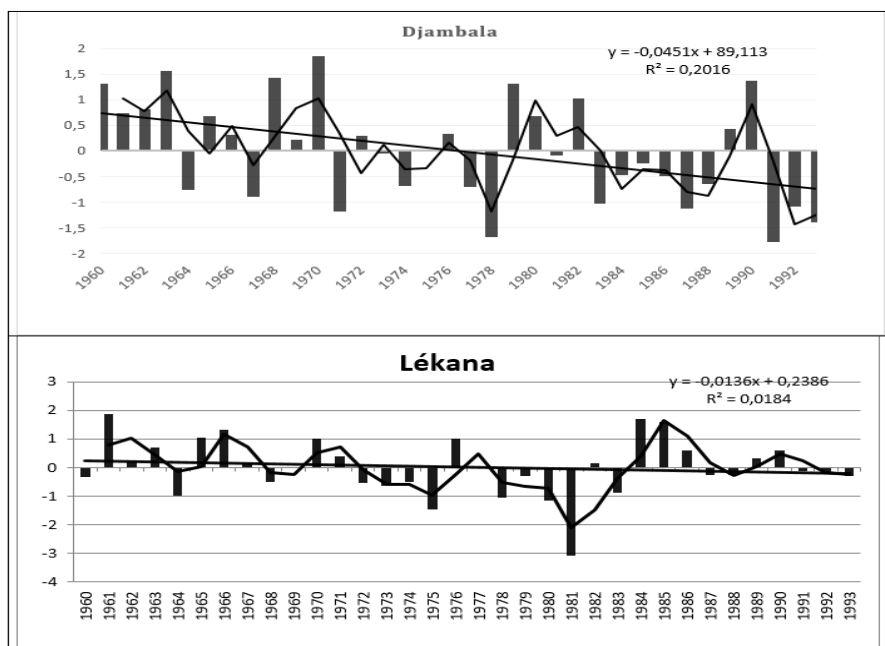


Figure 2 : Évolution interannuelle des précipitations dans le bassin versant de l'Alima de 1960-1993

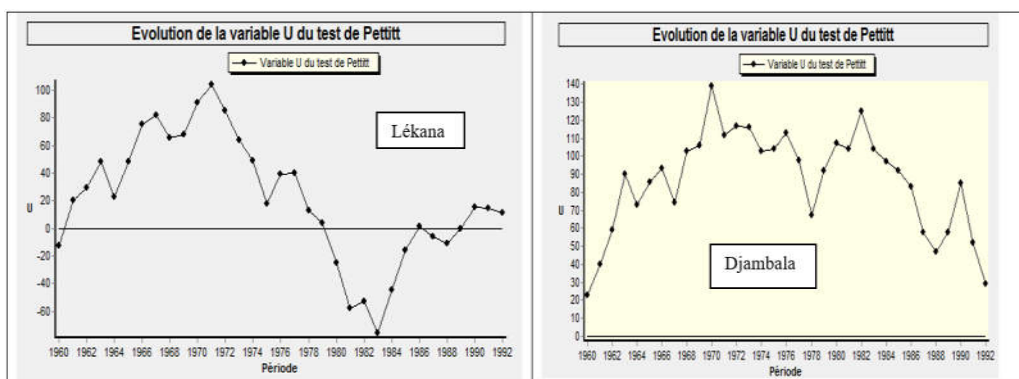


Figure 3 : Mise en évidence des tendances et des ruptures de stationnarité par le test de Pettitt dans la série pluviométrique du bassin versant de l'Alima

L'application du test de Pettitt (**Figure 3**) sur des séries chronologiques des précipitations ne montre aucune rupture. L'hypothèse d'absence de ruptures est acceptée aux différents seuils de confiance (90 %, 95 % et 99 %) dans les deux stations. Mais on note à la station de Lékana un point de chute en 1983 et de 1979 à 1989 la baisse pluviométrique était très considérable et la probabilité du point rupture est observée en 1971. A la station de Djambala, la probabilité du point de rupture est observée en 1990.

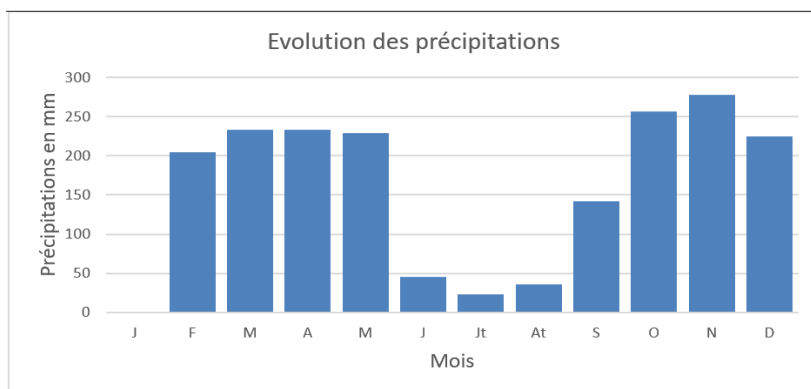


Figure 4 : Régime pluviométrique dans le bassin versant de l'Alima de 1960-1993

Le bassin versant de l'Alima est en grande partie couverte par une savane à *Loudetia demeusii*, d'une forêt mésophile au centre et d'une forêt inondée à la confluence avec le fleuve Congo. Bien que nous constatons une probabilité du point de rupture, le bassin versant de l'Alima est suffisamment arrosé avec 2097 mm d'eau par an. Son déficit d'écoulement est de 1165 mm, et son débit spécifique est de 30 l/s/km². L'Alima coule sur les formations géologiques sableuses et sablo-gréseuses très perméables qui assurent l'alimentation de cette rivière même pendant la saison sèche. Les eaux de pluies s'infiltrent facilement, ce qui traduit une forte valeur de la lame d'eau écoulée (932,1 mm). (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Bilan hydrologique de l'Alima à Tchikapika

Caractères Station hydrométrique	S en km ²	P en mm	Q en m ³ /s	Q _{ma} en m ³ /s	Q _{mi} en m ³ /s	CVS	H en mm	DE en mm	Q _s en l/s/km ²	CE en %	CC
Alima à Tchikapika	20.070	2097	592	691	416	1,6	932,1	1165	30	45	0,38

S = surface totale du bassin versant ; *P* = Pluie moyenne mensuelle ; *Q* = module interannuel ; *Q_{ma}* = débit maximal annuel ; *Q_{mi}* = débit minimal annuel ; *CVS* = coefficient de variation saisonnière ; *H* = lame d'eau écoulée ; *DE* = déficit d'écoulement ; *Q_s* = débit spécifique ; *C.E* = coefficient d'écoulement ; *CC* = coefficient de corrélation

III-2. Évolution des écoulements dans le bassin versant

Pour analyser les variations d'écoulement, l'unité spatiale retenue est le bassin versant identifiant le bassin hydrologique de l'Alima à Tchikapika. La **Figure 5** présente l'évolution interannuelle des débits moyens annuels (valeurs centrées) de la rivière Alima à Tchikapika. La période des plus forts débits entre 1963 et 1972 est marquée par les crues de 1965 et 1971. Et cette rivière a connu une période de baisse des débits très marquée de 1973 à 1985.

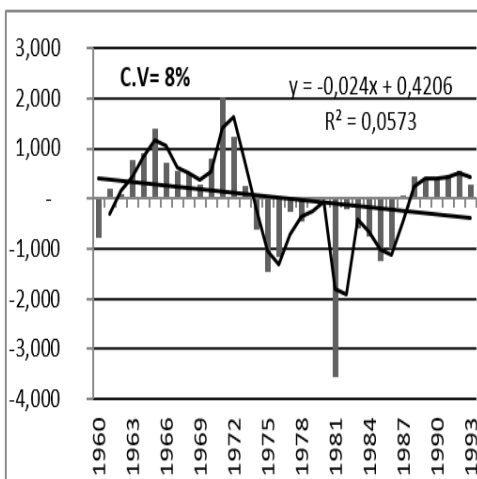


Figure 5 : Variabilité interannuelle des débits de l'Alima 1960-1993

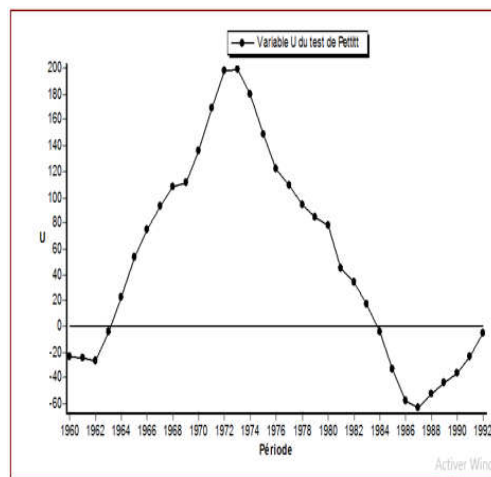


Figure 6 : Mise en évidence des tendances et ruptures de stationnarité dans la série hydrologique du bassin versant de l'Alima par le test de Pettitt

Les importants déficits d'écoulement sont observés de 1975 à 1975 et très accentué en 1981 (**Figure 5**), et correspondent aux périodes de baisse pluviométrique dans la zone d'étude. Le test de Pettitt appliqué dans la série chronologique des débits de l'Alima nous montre une rupture de stationnarité des écoulements intervenue en 1973, (**Figure 6**) et un changement dans l'écoulement de la chronique de l'hydraulique. L'hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée aux trois seuils de confiance (90 %, 95 % et 99%). Malgré un retour assez sensible à de meilleures conditions pluviométriques, le régime hydrologique de bassin versant durant la période d'étude connaît une baisse considérable de l'écoulement saisonnier à partir des années 1970. Cette baisse est enregistrée surtout durant la saison non pluvieuse (juin à septembre).

III-3. Impact des fluctuations pluviométriques sur l'écoulement

La baisse des précipitations semble s'être stabilisée ces dernières années, alors que l'écoulement des rivières continue de s'appauvrir dans des proportions importantes. Le déficit pluviométrique observé dans les deux stations pluviométriques retenues montre que le coefficient de variation varie entre 11 et 17 % dans l'ensemble du bassin versant de l'Alima (**Figure 2**). Il ressort de cette analyse que les déficits pluviométriques observés au cours des décennies 70 et 80, s'amplifient considérablement dans les écoulements du bassin. Ces résultats confirment ceux obtenus par les travaux de IRD (2001) en Afrique de l'Ouest. Mahé et Olivry (1995) de l'IRD, montrent qu'il y a eu déficit important dans les années 1975, 1976 et 1981 qui n'a pas cessé au cours des années suivantes dans cette même zone. Il sied de noter qu'aucune utilisation humaine ne participe à cette baisse de l'écoulement observée dans le bassin il n'a y pas d'irrigation et des cultures maraîchères. A bien voir il y a un faible contraste entre les débits et les précipitations (P_{mm}), puisqu'ils ne sont pas seulement influencés par les pluies, mais aussi par la nature du substratum (**Figure 7**).

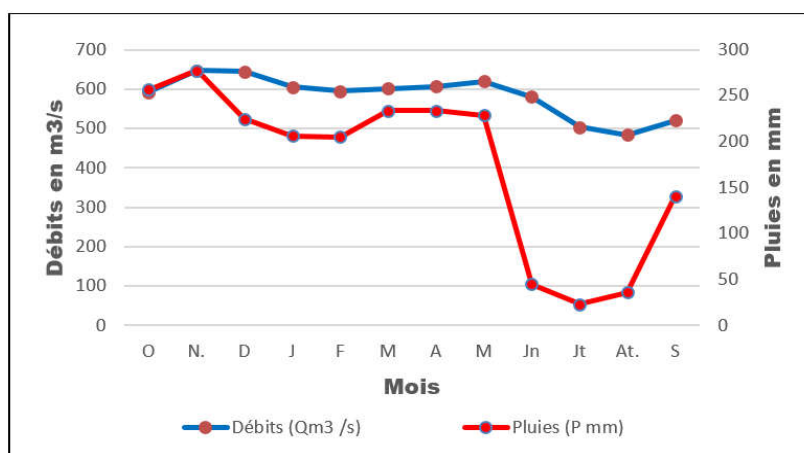


Figure 7 : Relation précipitations-écoulements de l'Alima à Tchikapika (1960-1993)

Les régimes des cours d'eau du Congo en général et ceux du plateau Téké en particulier sont directement influencés par un effet amplificateur et un effet de retard que joue les pluies. Les fonctionnements hydrologiques sont souvent calqués sur le régime des précipitations notamment en régime tropical. La différence de fonctionnement hydrologique observée ici est probablement due aux caractéristiques propres à l'espace géographique, notamment les caractéristiques géologiques (constituées essentiellement des sables qui jouent un rôle régulateur) et les états de surface (formations superficielles, état de la végétation). Le but de la méthode est de montrer la relation existante entre les pluies et les débits.

Tableau 2 : Pluies moyennes mensuelles en mm et débits moyens mensuels en m³/s dans le bassin versant d'Alima

Eléments	O	N.	D	J	F	M	A	M	Jn	Jt	At.	S
Pluies (P mm)	256,8	277,7	224,6	206,5	205,1	233,8	233,5	228,9	44,9	22,9	36	141
Débits (Qm ³ /s)	593	647	645	606	595	601	607	620	581	504	484	520

Source : IRSEN (débits) et ANAC (précipitations)

Les données pluviométriques et les débits mensuels (**Tableau 2**) ont permis de calculer le coefficient de corrélation par la formule de Liters et Tchigique (1974). Celui-ci est égal 0,38. L'examen de la figure 7 montre un décalage d'un mois entre le régime pluviométrique et le régime hydrologique : c'est le temps de réponse entre la chute des pluies et le moment de l'écoulement. En effet, les 3 mois de la saison OND concentrent environ 37 % de la pluviosité, cette répartition est néfaste puisqu'elle permet (quelques fois) la formation des fortes crues. En prenant les mois de la saison MAM qui reçoivent environ 37 % de la pluviosité, nous pouvons constater un facteur d'aggravation considérable, parce que les pluies de la saison OND qui précèdent la saison de pluies (MAM) permettent de saturer les sols de couverture et à remplir les nappes souterraines. En effet, les pluies qui tombent au mois de mars, trouvent donc un sol à faible capacité d'absorption, provoquant parfois des inondations. La corrélation entre les précipitations du mois précédant et les débits du mois suivant est très faible (CC = 38 %). Cette faible valeur implique la corrélation pluies-débits non satisfaisante, car les plateaux Batéké ont un coefficient de stockage des eaux d'infiltration très élevé (23,9 %), ce qui occasionne l'alimentation des cours d'eau de cette région pendant la saison non pluvieuse. La droite de régression (**Figure 8**) indique une dispersion des points, car les hautes eaux sont alimentées par les précipitations des saisons MAM et OND. La corrélation Pluie/Ecoulement (**Figure 7**) est significative comme l'indique la valeur du coefficient de détermination qui est de 0,38 (**Tableau 1**).

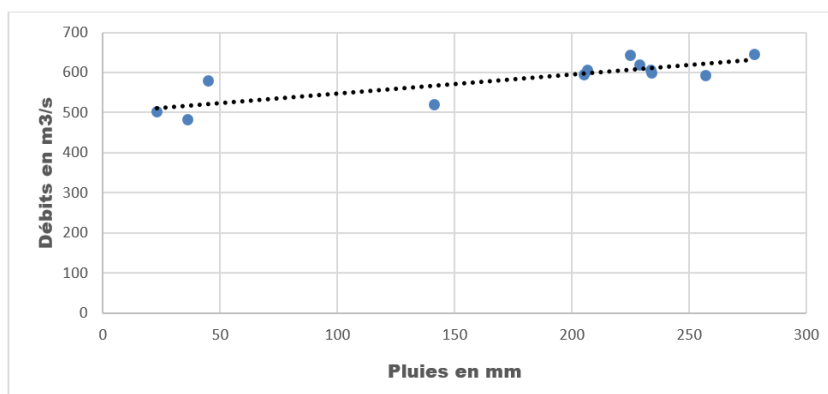


Figure 8 : Courbe de nuage de points de l'Alima à Tchikapika (1960-1993)

IV - DISCUSSION

La baisse de la pluviométrie constatée au cours de cette étude se situe en général après 1970 et s'intègre dans l'intervalle défini par les études antérieures. Comme signalés par Paturel et al (1998) les années 1970 constituent une période très représentative de l'importante chute de la pluviosité de façon progressive. Ce même résultat été fait en Afrique équatoriale atlantique par Maloba Makanga et Samba (1997) et Ibiassi (2003), qui remarquent que les années 1970 marquent le début d'une évolution pluviométrique à la baisse. Les années 1960-1980 sont caractérisées par une alternance d'anomalies positives et négatives alors que les années 1971-1980 sont caractérisées par une tendance à la baisse pluviométrique. L'Afrique centrale est caractérisée par une médiocre structuration spatiale des précipitations 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 précipitations. Malgré un régime pluviométrique contrasté dans les plateaux Téké, mais ce cours d'eau est alimenté pendant la saison non pluvieuse par la nappe aquifère. L'Alima draine un bassin d'environ 20.070 km² à sa confluence avec le Congo à Tchikapika avec un débit interannuel évalué à 603 m³/s pour la période de 1960 à 1993 et un débit spécifique de 30 m³/s.

Les chercheurs de l'ORSTOM-Montpellier ont trouvé un module de 584m³/s entre 1952 et 1994. Au cours de l'année les débits mensuels sont peu contrastés à cause des débits minimaux restant élevés, même en saison sèche. Les débits des crues sont très amortis 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 période 1956 à 1990, Samba Kimbata (1991) trouve une valeur de 1,1. Laraque et al (1996) obtiennent des résultats compris entre 1,1 et 1,5 pour les rivières Téké, Olivry (1967) une valeur de 1,15. La lame d'eau équivalente a été évaluée à 949,4 mm de 1964 à 1980. Elle est de 919,2 mm pour la période 1987 à 1993 d'après les chercheurs de l'ORSTOM. Olivry (1967) obtient 887mm. Pour notre période d'étude le déficit d'écoulement est estimé à 899,6 mm. Le débit spécifique de l'Alima à Tchikapika est de 30 l/s/km² et son coefficient d'écoulement est de à 50,1 % de 1964 à 1980. Laraque et Pandi (1996) trouvent 39,6 l/s/km² comme débit spécifique et un coefficient d'écoulement élevé de 50,4 % pour la période de 1952 à 1995. 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 (Samba- Kimbata, 1991). La corrélation entre les pluies tombées et les écoulements est très faible (0,38) dans le bassin versant de l'Alima. Pour cela, nous avons comparé deux paramètres hydrologiques qui ne présentent pas de liens physiques entre eux mais qui illustrent bien les particularités de leurs régimes hydrologiques (**Tableau 1**). Il s'agit d'une part du coefficient d'écoulement interannuel (CE en %) et d'autre part du coefficient de variation saisonnière moyen annuel des écoulements (CVS).

V - CONCLUSION

Le bassin versant de l'Alima connaît une variabilité pluviométrique et une variabilité hydrologique assez importantes dans le temps et dans l'espace. Sur l'ensemble de la série 1960-1993, deux périodes s'observent : une période humide de 1960 à 1971 et une période marquée par une faible pluviosité de 1972 à 1994. La tendance générale des précipitations et des écoulements est à la baisse. La baisse de la pluviosité concerne les hauteurs mensuelles, surtout celles des mois de juin, juillet, août, septembre. Le déficit pluviométrique observé dans le bassin est amplifié dans les écoulements et le niveau des réserves souterraines s'amenuise au fur et à mesure que le déficit pluviométrique se prolonge. Dans le bassin versant de l'Alima, l'infiltration est très élevée et la majeure partie des précipitations (1800-2200 mm) est restituée au cours d'eau à travers l'aquifère qui pondère les débits. Le coefficient d'écoulement est faible (45 %) à Tchikapika, de même que son débit spécifique (30 l/s/km²). La variation saisonnière des débits est faible (1,6) ainsi que la corrélation entre les pluies et les débits ($r = 0,38$). Tous ces paramètres hydrologiques (**Tableau 1**) indiquent que les régimes hydrodynamiques de l'Alima sur les plateaux Tékés sont réguliers en raison du rôle régulateur joué par le puissant aquifère des formations sableuse et sablo-gréseuse. La stabilité des écoulements fait que l'Alima soit navigable toute l'année. Avec cette stabilité des débits durant toute l'année, l'Alima mériterait une attention particulière de la part des décideurs hydrologiques de notre pays.

RÉFÉRENCES

- [1] - J. PERARD, E. B BOKONON-GANTA, Variabilité pluvieuse et mutations socio-économiques dans le Haut-Borgou (Nord-Bénin), Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 6 (1993) 163 - 171 p.
- [2] - J. D. MALOBA MAKANGA et G. SAMBA, Organisation pluviométrique sur l'espace Congo-Gabon (1950-1998). Sécheresse, Vol. 8, N°1 (1997) 39 - 45 p.
- [3] - B. FONTAINE, Précipitations soudano-sahéliennes et circulation estivale sur l'Afrique Occidentale et l'Afrique du Nord, *Etudes de climatologie Tropicale*, Masson, Paris, (1986) 63 - 78 p.
- [4] - A. LARAQUE, J.C OLIVRY, Evolution de l'hydrologie du Congo-zaïre et de ses affluents rive droite et dynamique de ses transports solides et dissous, l'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement, actes de la conférence de Paris, mai 1995, revue AIHS-10, (1996) 153 - 168 p.
- [5] - A. LARAQUE ET A. PANDI, Rôle des données physiographiques dans la classification hydrologique des affluents congolais du fleuve Congo-zaïre. C.R. Acad.Sc. Paris, t.323 série II a, (1996) 855 - 858 p.
- [6] - H. LUBES , J-M. MASSON, E. SERVAT, J-E PARTUREL, B. KOUAME, Caractérisation des fluctuations dans une série chronologique par l'application de tests statistiques, étude bibliographique. Programme I C C ARE , ORS TOM, rapport N° 3 (1994) 21 p.
- [7] - G. MAHE, J. C OLIVRY, Variation des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale de 1951 à 1989, *Sécheresse*, 6 (1) (1995) 109 - 117 p.
- [8] - B.-A. MILLER, Geographic Information Systems and Spatial Statistics Applied for Soil Mapping: A Contribution to Land Use Management. In: Soil Mapping and Process Modelling for Sustainable Land Use Management, Elsevier, New York, (2017) 127 - 149, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805200-6.00005-0>
- [9] - J. E. PATUREL, E. SERVAT, Procédure d'identification de " ruptures " dans les séries hydrologiques; modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne. L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement, IAHS Publ, N° 238 (1996)

- [10] - A. N. PETTITT, A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.*, 28, 2, (1979) 126 - 135 p.
- [11] - M-J. SAMBA KIMBATA, Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse pour le doctorat d'Etat, Université de Bourgogne. Centre de Recherche Climatologie, Dijon, (1991) 280 p. + figures
- [12] - E.VISSIN, M. BOKO, J. PERARD et C. HOUNDENOU, Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger(Bénin, Afrique de l'Ouest), (2003) 368 - 376 p.
- [13] - G. IBIASSI MAHOUNGOU, Caractérisation hydro climatique du bassin versant de la cuvette congolaise. Mémoire de maîtrise de géographie physique, U.M.NG, Brazzaville, (2003) 61 p.
- [14] - SITE WEB IRD, (2017), www.ird.fr/inst/ist/editions/siteFish/image/tchad.html