



Dynamique de pluie et débit sur l'Oubangui à Mobaye, République Centrafricaine : Evidence de comportements hydrologiques variés du bassin

Rainfall and discharge dynamics over the Ubangi River at Mobaye, Central African Republic : Evidence of diverse hydrological behaviors of the basin

Cyriaque Rufin NGUIMALET¹

Abstract: This paper examines the evolution of the average rainfall (R) over the catchment and discharges (Q) of the Ubangi River at Mobaye (403,800 km²) in order to establish homogeneous hydroclimatic periods and to appreciate groundwater behaviors over 1938-2015 period. Annual and daily mean data (rainfall and discharge) were subjected to different statistical tests (rainfall and flow indices, search of ruptures, depletion coefficient and potential groundwater discharge) according to hydrological year.

Average rainfall over the catchment is 1,506 mm, with recorded extremes in 1941-1942 (1,813 mm) and in 1986-1987 (1,281 mm). This series collected three homogeneous hydroclimatic periods (1938-1968, 1969-2006 and 2007-2013). As for annual mean discharges, the interannual average is 2,961 m³/s and the extremes Q are 5,524 m³/s (in 1969-1970) and 1,776 m³/s (1990-1991). Four hydroclimatic periods and homogeneous Q were detected. On the rupture dates, 1969 is capital into the catchment for both rainfall and discharge, while 1968 is an exceptional year with a 5,524 m³/s and 1981 a driest one. A short rainfall recovery (2007-2013) didn't disrupt/break a long flow decline (-20% in 1981-2013) at Mobaye. This declining hydroclimatic context doesn't reveal the contributions of neither the forest coverage, such with the Carnot Sandstone the decline on Sangha (-9%), nor groundwater' support to flows, acting by pulsations, due to depletion increasing. These results translate complex dynamics of rainfall and discharge at Mobaye, implying a mitigated basin groundwater recharge.

Keywords: Dynamics, annual rainfall, annual mean discharge, Ubangi River, Mobaye, catchment's hydrological behaviors, Central African Republic.

Résumé : Ce papier examine l'évolution de la pluviométrie moyenne (P) sur le bassin et des débits (Q) de l'Oubangui à Mobaye (403 800 km²) pour déterminer des périodes hydroclimatiques homogènes et apprécier le comportement des aquifères sur la période 1938-2015. Des données annuelles et moyennes journalières (pluviométriques et de débit) ont été soumises à différents tests statistiques (indices pluviométrique et d'écoulement, recherche de ruptures, coefficient de tarissement et volume mobilisé par aquifère) selon l'année hydrologique.

La pluie moyenne sur le bassin est de 1 506 mm, avec des extrêmes enregistrés en 1941-1942 (1 813 mm) et en 1986-1987 (1 281 mm). Cette série a recueilli trois périodes hydroclimatiques homogènes (1938-1968, 1969-2006 et 2007-2013). Quant aux débits moyens annuels, la moyenne interannuelle est de 2 961 m³/s et les extrêmes sont de 5 524 m³/s (1969-1970) et 1 776 m³/s (1990-1991). Quatre périodes hydroclimatiques et Q homogènes y sont détectées. Sur les dates de rupture, 1969 est capitale dans ce bassin aussi bien pour les pluies que les débits, alors que 1968 est une année exceptionnelle avec un module de 5 524 m³/s et 1981 une année plus sèche sur les Q. Une reprise pluviométrique enregistrée (2007-2013) n'a rompu le long déficit d'écoulement (-20% en 1981-2013) à Mobaye.

Ce contexte hydroclimatique déficitaire ne révèle pas les contributions du couvert forestier, comme avec les Grès de Carnot un faible déficit sur la Sangha (-9%), ni du soutien des aquifères aux écoulements sur l'Oubangui à Mobaye, agissant par des pulsations selon l'accentuation du tarissement. Ces résultats traduisent des dynamiques complexes de pluie sur le bassin et de débit, impliquant une recharge mitigée des aquifères du bassin.

Mots clés : Dynamique, pluie annuelle, débit moyen annuel, Oubangui, Mobaye, comportements hydrologiques du bassin, République Centrafricaine.

¹ Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, B.P. : 1037 – Bangui, République Centrafricaine - E-mail: cyrunguimalet@gmail.com

INTRODUCTION

Des travaux ont discuté de la faiblesse d'écoulement des grands cours d'eau africains, consécutive à la réduction pluviométrique, quoique celle-ci soit plus faible en Afrique centrale (WESSELINK *et al.*, 1996 ; ORANGE *et al.*, 1997 ; LARAQUE *et al.*, 1997 et 2013 ; SIGHOMNOU *et al.*, 2007) que de l'Ouest (SERVAT *et al.*, 1997 ; OLIVRY *et al.*, 1998 ; PATUREL *et al.*, 2007 ; KANOHIN *et al.*, 2009 ; MAHE, 2009). Sur le Congo à Brazzaville, LARAQUE *et al.* (2013) ont noté qu'après un déficit hydrologique observé dans la décennie 80, l'écoulement est revenu à la normale depuis 1990 ; alors que sur l'Oubangui à Bangui, une faible baisse pluviométrique variable de 5 à 6% est observée (ORANGE *et al.*, 1995 et 1997 ; WESSELINK *et al.*, 1996 ; NGUIMALET & ORANGE, 2019), laquelle a engendré 22% de déficit hydrologique (1983-2013), soit un rapport de 4. En raison de l'étendue de son bassin à Mongoumba (554 000 km² : METTIN, 1995), à sa sortie au SO du territoire centrafricain en direction du fleuve Congo, l'Oubangui devrait être plus assujéti à un fort impact de l'hétérogénéité spatiale de son système fluvial que recueilleraient les régimes d'écoulement, voire pluviométriques sur son bassin, en ses différents exutoires (Bangui, Zinga ou Mongoumba). Cela implique de comprendre le fonctionnement du sous-bassin à Mobaye, l'exutoire amont de l'Oubangui, dont la superficie totale est réduite de 19%, comparée à celle du bassin de l'Oubangui à Bangui (499 000 km²).

Très peu de travaux ont porté sur l'Oubangui à Mobaye (BRUEL, 1902 ; NZANGO, 2018 ; NZANGO *et al.*, 2019 ; NGUIMALET *et al.*, 2020, sous presse). BRUEL (1902) a observé que l'année 1899 a été celle d'une sécheresse exceptionnelle dans toute l'Afrique et qu'à Mobaye, ville riveraine de l'Oubangui en amont de Bangui, au mois de septembre de la même année (saison pluvieuse), les bancs de sable émergeaient comme en fin janvier 1897 (saison sèche) ; la crue fut inférieure de 4 m à celle observée en 1897 (année exceptionnellement pluvieuse). Cela suppose qu'à Bangui (située en aval) en 1899, la sécheresse aurait eu la même importance qu'à Mobaye (en amont) ; une telle sécheresse de nos jours aurait de conséquences sans précédents sur les citadins et leurs ressources (NGUIMALET, 2004, p. 334). NZANGO (2018) a montré que le barrage de Mobaye n'altère sensiblement pas l'écoulement, car son « ouvrage en travers » n'obstrue que partiellement la largeur du chenal de l'Oubangui. De même, NZANGO *et al.* (2019) ont montré que le barrage de Mobaye n'affectait pratiquement pas le comportement hydrologique de l'Oubangui, et les analyses granulométriques et géomorphologiques ont confirmé le maintien du régime hydrosédimentaire en cet exutoire. Quant à NGUIMALET *et al.* (2020), une différence de comportement des sous-bassins de l'Oubangui à Mobaye est mise en évidence sur le coefficient d'écoulement selon le couvert végétal : un déficit de -5% est ainsi noté sous savane (Kotto à Bria et à Kembé) contre une reprise de +10% sous forêt (Mbomou à Zémio et à Bangassou, et Uele à Bondo) sur la période 1951-1995. On ignore cependant les comportements pluviométriques à l'échelle du bassin et de l'écoulement à l'exutoire de Mobaye dans ce contexte hydroclimatique déficitaire ou de réduction/reprise aussi bien de pluie que de débit en Afrique centrale. Alors comment l'impact de la sécheresse hydrologique actuelle a-t-il impacté les comportements de l'Oubangui à Mobaye ? On fait l'hypothèse que la pluviométrie sur le bassin et le débit à cet exutoire ont des régimes soutenus, moins affectés par cette sécheresse. Ainsi, ce papier examine l'évolution de la pluviométrie moyenne (P) sur le bassin et des débits (Q) annuels de l'Oubangui à Mobaye (403 800 km²) dans le but de rechercher des périodes homogènes ou hydroclimatiques et d'apprécier le comportement des aquifères du bassin.

L'OUBANGUI A MOBAYE DANS SON BASSIN

L'exutoire de l'Oubangui à Mobaye (4°18' N-21°11' E - 403 800 km² - 383 m : CALLEDE *et al.*, 2009) est situé à 151 km du Village Kemba en Centrafrique (4°07'25'' N-22°26'13'' E), à la confluence du Mbomou et de l'Uele dans son cours moyen, venant respectivement de la République centrafricaine (RCA) au nord et la République Démocratique du Congo (RDC) au sud (Fig. 1a). A Mobaye en aval des rapides, l'Oubangui est large d'environ 3 km avec des îles : une sorte de grosse anse avec L = 3,4 km et l = 1,4 km donnant 1,2 de forme (Fig. 1b).

Le relief du bassin est dominé par des montagnes à ses extrémités SE (Haut-Uele) et Nord (Haut-bassin de la Kotto) d'altitude inégale : respectivement 1 700 m et 1300 m. Leur sont emboîtés des plateaux (Surface centrafricaine et Plateau de l'Uele) et la plaine ou vallée, voire piémont, de l'Oubangui au SO. Dans le SE du bassin, le point le plus élevé de tout le bassin oubanguien est à 1.796 m (2°31' N-30°45' E) en amont de l'Uele, le long de l'interfluve Congo-Nil (CALLEDE *et al.*, 2009). Watsa (1 018 m) est situé dans une zone de hauts-plateaux et de collines, dans sa partie nord-est, où sont notés Kongbokoro (1 024 m), Angozey (1 060 m), Marupku (1 054 m), Matso (903 m) et Use (1 103 m). Faradje et Dungu présentent des collines du type inselberg et un relief aplani, avec des pédiplains étagés avec des altitudes variant entre 700 et 1 100 m, qui forment la ligne de partage des bassins du Congo et du Nil (Aba) (LA MONOGRAPHIE DU HAUT-UELE, 2020). Au nord, le Mont Toussoro pointe à 1330 m dans le massif du Dar Challa près de l'interfluve Tchad-Congo-Nil. Ensuite, le plateau gréseux de Mouka-Ouadda relaye avec une altitude décroissante (1000-700 m). La Surface Centrafricaine, bouclier centrafricain (BOULVERT, 1996), modelé ici dans des grès-quartzites à Mobaye (600-

700 m), couvre le Haut-Mbomou et le Mbomou et se prolongeant en RDC (Haut et Bas-Uele, Mobayi Bongo et Zongo), avec le bassin de l'Uele mais également les plateaux de Kota-Koli. Ces formations précambriennes sont les témoins des cratons multiples séparés par des ceintures orogéniques plissées résultant de longues sédimentations dans les géosynclinaux occupant les zones mobiles intermédiaires (CALLEDE *et al.*, 2009). Entre Mobaye et Satéma, les grès-quartzites paraissent être le prolongement du système supérieur quartzitique. Le paysage en collines successives allongées tranche sur la pénéplanation très généralisée du Complexe de base. L'hypothèse d'une compression de dépôts de couverture dans des sillons plus ou moins subsidents a été émise par MESTRAUD (1982). Les quartzites à grain fin forment une grande aire d'affleurement (série de Mobaye). De l'autre rive, s'observe l'Ubangien supérieur (ou "Aruwimi"), discordant sur l'Ubangien inférieur. Cette série forme de grands plis NO-SE à flancs redressés, souvent faillés et à voûtes très plates. Ces plis ont des crêtes très allongées et très larges culminant à 50 ou 100 m au-dessus des collecteurs. L'Ubangien supérieur forme un grand interfluve nord-sud dit de *Kota Koli*, de part et d'autre de Satéma (4°18'16" N-21°41'12" E) sur l'Oubangui. Elle correspond aux grès-quartzites de Kembé-Nakando. Ils y dessinent une structure synclinale subméridienne au-dessus de la série de Bougbolou. Au-dessus de ces formations précambriennes, reposent en discordance des dépôts glaciaires paléozoïques de la Kombélé (CENSIER *al.*, 1992) et gréseux mésozoïques de Mouka-Ouadda (MALIBANGAR, 2000 ; Fig. 1a). Enfin, la plaine ou le piémont de l'Oubangui est assez étroit confinant les vallées aval du Mbomou et de l'Uele, et de l'Oubangui jusqu'à Mobaye, y compris la vallée aval de la Kotto à sa confluence, proche de Limassa (4°13'60" N-22°02' E).

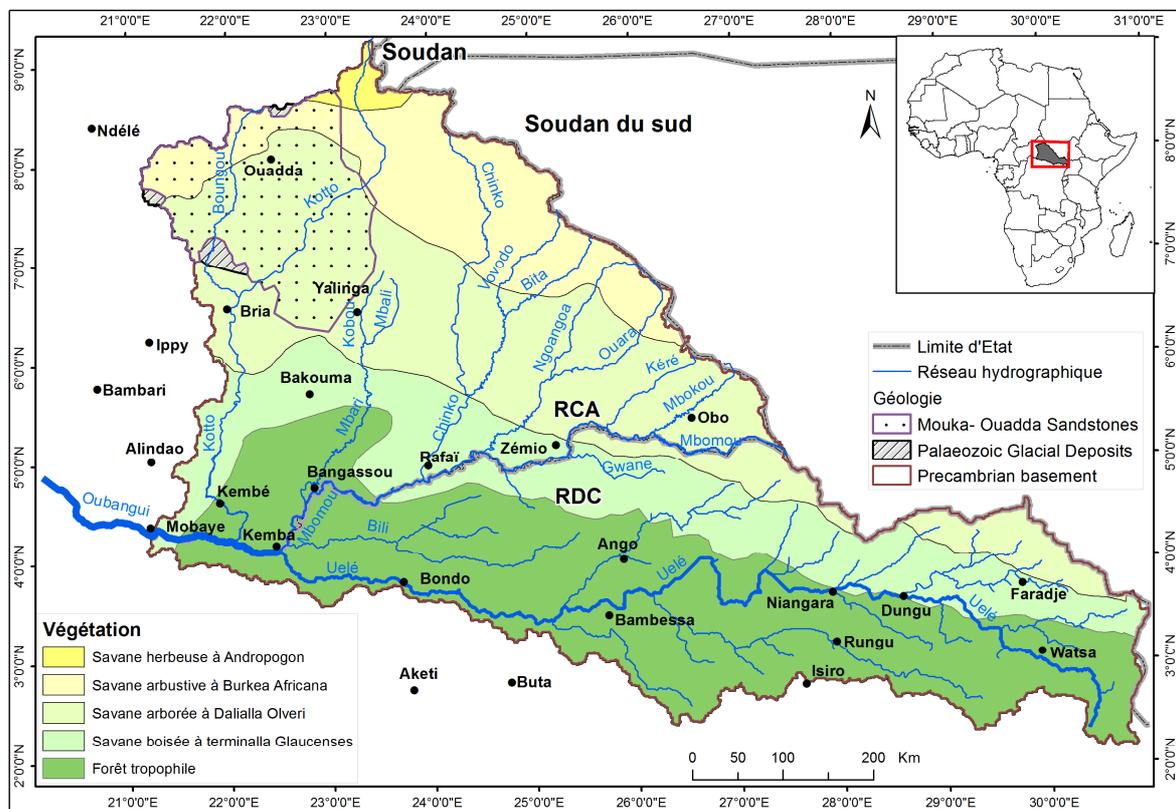


Figure 1a. Formations géologiques et végétales du bassin de l'Oubangui à Mobaye.

Le chenal de l'Oubangui, ayant rompu la continuité de ces plateaux, présente localement un important rétrécissement de 380 m qui a engendré les Rapides de Mobaye, après celui de Satéma (400 m de large). Entre Satéma en amont (cote 389) et Mobaye en aval (cote 383), existe un autre rétrécissement large de 500 m à Libanga, nommé *Pangba* (cote 386) (Fig. 1b). Les Rapides de Mobaye sont précédés par deux coudes successifs : le premier, le plus grand, s'adosse aux Collines *Mozambi* (632 m) au large du village Damboro, et le second est dominé par les Collines *Gomogani* (585 m) surplombant le village Somba (à l'est de Mobaye) juste en amont des rapides en rive droite. Ceux-ci témoignent des premières signatures structurales sur la morphologie du chenal de l'Oubangui depuis le confluent Mbomou-Uele. Ces collines localisées à l'est de la ville se terminent à Mobaye par des escarpements d'orientation méridienne.

Le régime fluvial à Mobaye est influencé par les variantes soudaniennes (soudano-oubanguienne, soudano-guinéenne et soudano-sahélienne) du centre au nord du bassin du climat tropical humide, comparées à la guinéenne-forestière au sud (NGUIMALET, 2017). Selon ce gradient sud-nord, la pluviométrie sur le bassin décroît de 1 700 mm/1 600 mm du côté de l’Uele en RDC ou en RCA à 1 000 mm en moyenne au Haut-bassin de la Kotto (NGUIMALET & NDJENDOLE, 2008), avec une moyenne annuelle $\geq 1\ 500$ mm. La forêt dense humide forme des îlots autour de Bangassou (RCA) et suit toute la vallée de l’Uélé en RDC où elle couvre 34% de superficie en Haut-Uele (Fig. 1a). Les savanes couvrent 60% du bassin, traversés chaque année par des feux de brousse saisonniers (ORANGE & GHILOUFI, 1996). Cette proportion devrait être réduite avec l’essor démographique et des activités humaines depuis lors et couvre 47% sur le bassin de l’Uele.

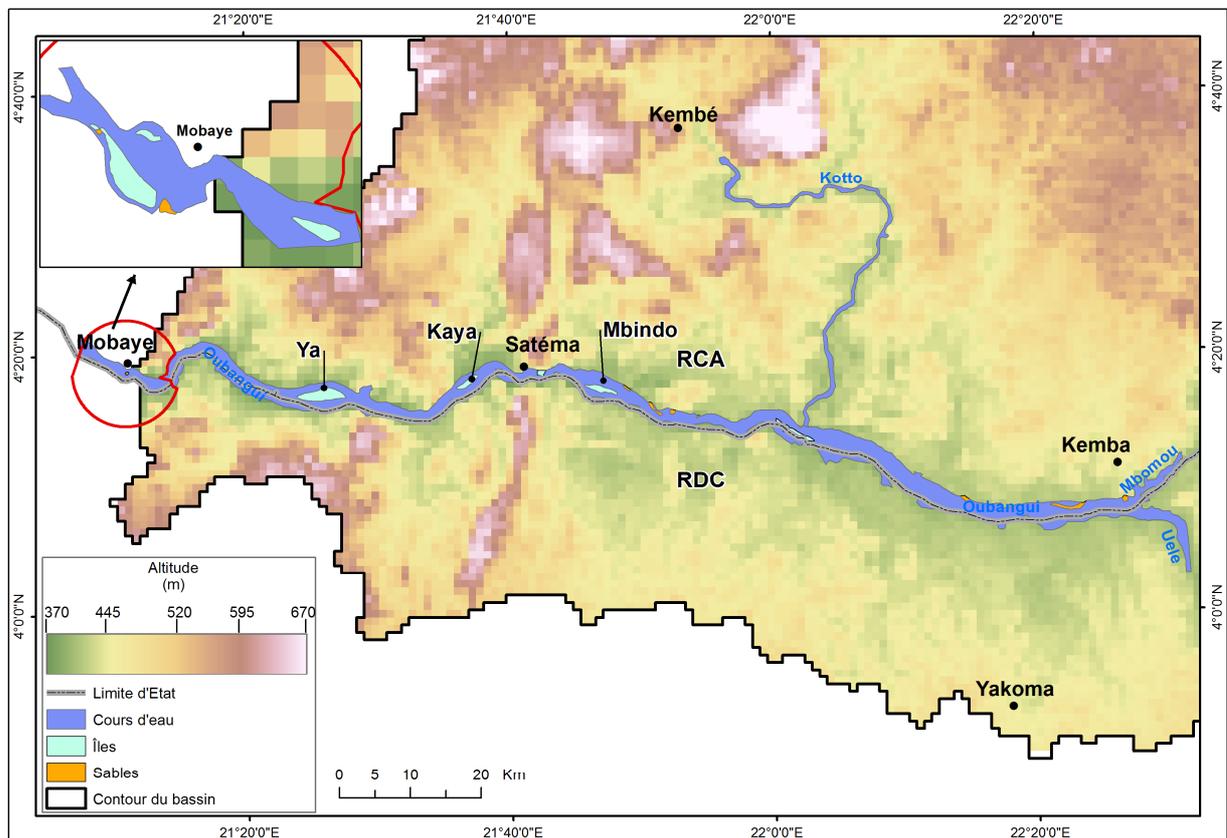


Figure 1b. Lit de l’Oubangui, du confluent Mbomou-Uele à Mobaye.

DONNES ET METHODES UTILISEES

Des données de pluie (P) annuelle et de débits (Q) moyens annuels et moyens journaliers utilisées dans ce travail ont été extraites de la base de données de l’Institut de Recherche pour le Développement (IRD), de l’Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar (ASECNA) à Bangui et de la Direction de la Météorologie Nationale sur la période 1938-2015 (77 ans). Les données de pluie annuelle ont été recueillies dans onze stations réparties sur l’ensemble du bassin de l’Oubangui considéré et à ses marges en RCA (Bangassou, Bria, Ippy, Bambari, Mobaye, Obo, Rafai, Zémio, Alindao, Bakouma, Kembé, Kouango, Niakari, Yalinga et Ndélé) et en RDC (Bondo : 1960-1964, et Aketi : 1953-1961). N’ayant pas toutes la même longueur de série, car certaines se sont arrêtées en 1980 (Rafai, Zémio, Bakouma, Kembé, Kouango, Niakari), les plus longues séries (Bangassou, Obo, Alindao) ont été extrapolées pour donner une représentativité des pluies sur le bassin. Les débits moyens mensuels et annuels à l’exutoire de Mobaye ont été tirés de CALLEDE *et al.* (2009) et de WESSELINK *et al.* (1995). Ces données ont comporté 27% de données mensuelles manquantes sur la période 1938-1976, reconstituées soit par la méthode des moyennes encadrantes, soit par la régression linéaire. Sur les périodes 1977-1985 et 1995-2015, les données de la valeur du débit manquant ont été estimées, partant de la station de Bangui, par extrapolation vers l’aval par cette formule (JACOB *et al.*, 2006 ; AZOUKA, 2011) :

$$q = Q (A / a)^{0,8}$$

d'où :

q est le débit recherché ;

Q est le débit à la station indiquée ;

A la superficie du bassin à la station (en km²)

a la superficie du bassin à l'amont du tronçon étudié.

0,8 est l'exposant utilisé pour obtenir une valeur plus proche du réel. Par contre, sans cet exposant, les valeurs sont minimisées.

Les données journalières ont regorgé de nombreuses lacunes, notamment dans la décennie 1960 à pluviométrie exceptionnelle et surtout après 1976, et n'ont conduit à suivre simultanément leur évolution pluriannuelle depuis lors. Les données P et Q ont été par la suite disposées selon l'année hydrologique (1^{er} avril-31 mars). La pluviosité moyenne sur le bassin a été obtenue par une simple moyenne des totaux pluviométriques annuels. Les indices pluviométrique et d'écoulement ont été calculés (rapport de P/Q [annuel](#) à la moyenne interannuelle de chaque série sur la période considérée). Quant aux débits moyens annuels (Q), la moyenne interannuelle a été aussi calculée.

Des tests de rupture dans les séries pluviométriques et hydrométriques ont été faits avec le logiciel *Khronostat 1.01* (LUBES-NIEL *et al.*, 1998 ; NGUIMALET & ORANGE, 2019). Par ailleurs, les coefficients de tarissement et le volume mobilisé par l'aquifère du bassin de l'Oubangui à Mobaye calculés (SAVANE *et al.*, 2001 ; COSANDEY *et al.*, 2003 ; GOULA *et al.*, 2006) ont été utilisés pour déterminer des indices centrés réduits respectifs afin de mettre en évidence des tendances (hausse ou baisse) sur ces variables. Les résultats obtenus ont permis de souligner diverses réactivités hydrologiques du bassin à Mobaye autour de la rupture climatique majeure de 1970, selon des périodes homogènes aux P et Q.

RESULTATS

Evolution interannuelle de la pluviosité et des débits moyens annuels à Mobaye

La pluie moyenne interannuelle sur le bassin de l'Oubangui à Mobaye est de 1 506 mm sur la période 1938-2015. Cette série temporelle montre trois périodes, selon l'indice pluviométrique, caractérisées à la fois d'humidité et de sécheresse : i) une période humide (1938-1968) avec une pluviosité moyenne de 1 568 mm ; ii) une période sèche (1969-2006) imprimant une période sèche typique avec une moyenne de 1 436 mm (-5% de réduction) ; et iii) une autre excédentaire (2007-2013) avec 1 583 mm (+5%) dans ce contexte climatique déficitaire en cours par rapport à la moyenne interannuelle. En revanche, les minimums annuels de la série étudiée sont quasiment tous enregistrés aussi bien dans la période humide en 1949-1950 avec 1 291 mm (soit -14% par rapport à la moyenne interannuelle) que dans la période sèche, respectivement 1 281 mm en 1986-1987 et 1 286 mm en 2006-2007. Ces minimums sont les plus faibles dans la période sèche en cours. Alors que plusieurs maximums pluviométriques annuels ont été recueillis dans la période humide initiale : 1 813 mm en 1941-1942, 1 762 mm en 1940-1941, 1 738 mm en 1964-1965 et 1 716 mm en 1968-1969, contre seulement deux dans la période sèche actuelle en 2008-2009 (1 646 mm) et 2010-2011 (1 691 mm). L'année 2010-2011 est la plus humide de la dernière séquence pluviométrique (Fig. 2). Quant aux débits moyens annuels, la moyenne interannuelle est de 2 961 m³/s et le maximum annuel enregistré a été de 5 524 m³/s en 1969-1970 et le minimum en 1990-1991 (1 776 m³/s) sur la période 1938-2015. Les années humides se caractérisent par des modules annuels qui varient de 3 500 à 5 500 m³/s alors que ces valeurs se situent entre 3000 et 1 500 m³/s en période sèche, surtout depuis 1980. Les plus faibles débits annuels à Mobaye ont été aussi recueillis en 2011-2012 (1 806 m³/s) et en 2000-2001 (1 966 m³/s).

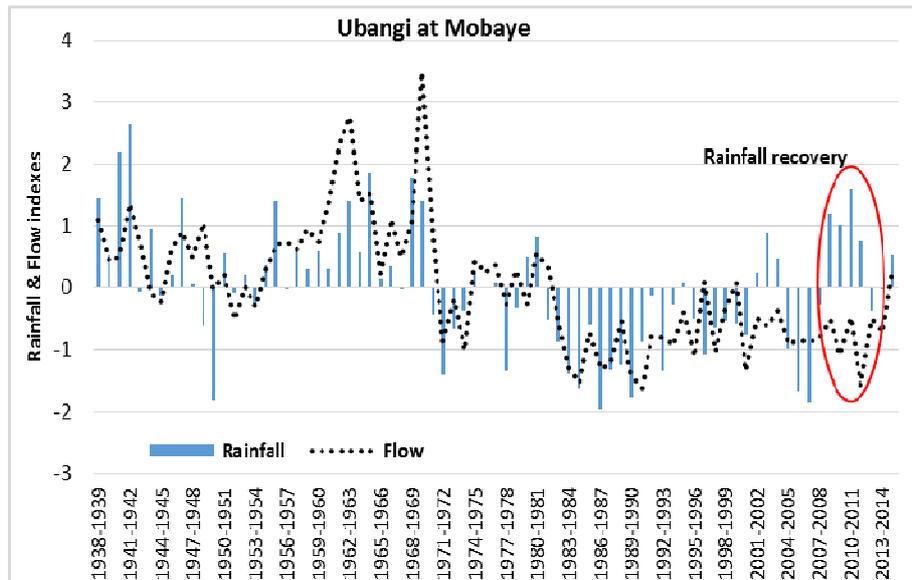


Figure 2. Indices pluviométrique du bassin et d'écoulement moyens annuels de l'Oubangui à Mobaye (1938-2015).

La reprise pluviométrique à partir de 2007 n'a engendré d'abondance hydrologique. En effet, malgré la réduction pluviométrique sur son bassin (1969-2006), le niveau d'écoulement de l'Oubangui à Mobaye s'est maintenu quasiment par son importance jusqu'en 1980, quoiqu'il frôle la normale depuis 1969. Cette situation montre aussi quasiment son insensibilité à la manifestation de cette sécheresse dans cette partie amont du bassin congolais, au contraire des autres grands cours d'eau. Alors qu'apporte la détection des ruptures à cette étude ?

Des ruptures détectées dans les séries étudiées

Des dates de ruptures sont détectées aussi bien avec les tests de Pettitt et Lee-Heghinian que de Hubert (LUBES-NIEL *et al.*, 1998) dans les séries pluviométriques et de débits annuels. Si les autres tests (Pettitt et Lee-Heghinian) ne peuvent déceler plus d'une rupture ou date de rupture, la segmentation de Hubert a l'avantage de déterminer plusieurs périodes de stationnarité dans les séries étudiées. Ainsi, la série pluviométrique a recueilli deux ruptures (1968 et 2006) et trois périodes et Q homogènes (1938-1968, 1969-2006 et 2007-2013) avec la segmentation de Hubert, et une seule rupture en 1969 respectivement avec les tests de Pettitt (probabilité de dépassement de la valeur critique : 8.78^E-04) et Lee-Heghinian (point de rupture : 0.3709) (Tableau 1). Quant aux débits moyens annuels, une seule rupture en 1981 est détectée dans leur série respectivement avec les tests de Pettitt et Lee-Heghinian, et quatre autres avec la segmentation de Hubert (1956, 1967, 1968 et 1980), qui décrivent quatre périodes et Q homogènes (Tableau 2). Sur les dates de rupture, 1969 est capitale dans le bassin amont de l'Oubangui à Mobaye aussi bien pour les pluies que les débits, alors que 1968 est une année plus humide avec un débit exceptionnel de $5\,524\text{ m}^3/\text{s}$ et 1981 une année plus sèche avec les tests de Pettitt (probabilité de dépassement de la valeur critique : 9.33^E-10) et Lee-Heghinian (point de rupture : 0.3899). Considérant les années 1969 (P) et 1981 (Q), on estime que les tests de Pettitt et Lee-Heghinian ont révélé des ruptures « majeures » ou « significatives » dans les séries étudiées, vu que dans les deux cas, celles-ci ont induit des cycles de sécheresse dans le bassin, notamment précoces sur les P et tardives sur les Q.

L'absence ou un nombre réduit de ruptures dans la pluviosité signale une certaine stabilité de cette série comparée à la multitude enregistrée dans la série hydrologique, d'où son instabilité hydroclimatique ; 1968 y est plutôt une année exceptionnelle. Quoique de nombreuses périodes de stationnarité aient été détectées dans les débits annuels, celles-ci ont traduit davantage d'excédents hydrologiques que de déficits (-20% en 1981-2013 : Tableau 2) au regard du faible module interannuel ($2\,961\text{ m}^3/\text{s}$). Cela soulignerait l'indifférence de l'Oubangui amont à cette cassure de 1968 dont l'effet est tardif ou différé, noté à partir de 1981. Par ailleurs, l'impact de l'excédent pluviométrique (+5%) en 2007-2013 est nul sur l'Oubangui à Mobaye et serait-il dû au fort prélèvement sur le bassin lié probablement au réchauffement global, à la faible infiltration des pluies ou averses intenses engendrant un transfert spontané de la lame d'eau. Ce comportement différé du cours d'eau questionnerait l'importance relative du couvert végétal, n'ayant pas soutenu/équilibré l'écoulement à Mobaye.

Tableau 1. Segmentation statistique de la pluviosité moyenne sur le bassin de l'Oubangui à Mobaye (1938-2015).

Rivières/ Tests statistiques	Moyenne interannuelle (m ³ /s)	Pettitt	Lee et Heghinian	Hubert (m ³ /s)	Ecart-type	Tendances hydroclimatiques	Rapport à la moyenne interannuelle (%)
<i>Oubangui à Mobaye (403 800 km²)</i>	1 506	1969	1969	1938-1968 : 1 567.774	108.692	Humidité	+4
				1969-2006 : 1 436.342	87.829	Sécheresse	-5
				2007-2013 : 1 583.286	80.800	Humidité	+5

Nous avons donc trois périodes hydroclimatiques (1938-1968, 1969-2006 et 2007-2013) sur les pluies et quatre autres (1938-1956, 1957-1968, 1969-1980 et 1981-2013) sur les débits moyens annuels, nonobstant l'année 1968, qui ont des dynamiques complexes et asynchrones entre ces variables étudiées. Ceci soulignerait des réponses atypiques de P ou Q sur la dynamique de ce bassin.

Tableau 2. Segmentation statistique des débits moyens annuels de l'Oubangui à Mobaye (1938-2015).

Rivières/ Tests statistiques	Moyenne interannuelle (m ³ /s)	Pettitt	Lee et Heghinian	Hubert (m ³ /s)	Ecart-type	Tendances hydroclimatiques	Rapport à la moyenne interannuelle (%)
<i>Oubangui à Mobaye (403 800 km²)</i>	2 961	1981	1981	1938-1956 : 3 251	362.268	Faible humidité	+10
				1957-1967 : 3 897	545.502	Humidité	+32
				1968-1968 : 5 524	0.000	Hyper humidité	+87
				1969-1980 : 2 986	413.613	Moyenne	+1
				1981-2013 : 2 372	351.415	Sècheresse	-20

DISCUSSIONS

Précocité de la rupture climatique majeure à Mobaye

L'analyse couplée des séries pluviométriques et hydrologiques a indiqué une précocité de la rupture climatique dans le bassin de l'Oubangui à Mobaye et donc de la sécheresse actuelle, en 1968 et 1969 respectivement, face à la cassure majeure de 1970 unanimement admise en Afrique centrale et de l'Ouest. Est-ce dû à sa position amont ou en haut-bassin ? Dans la série pluviométrique, la rupture de 1968 est intervenue à la fin d'une période homogène humide (1938-1968), enregistrant seulement un excédent de +4% par rapport à la moyenne interannuelle. Celle-ci s'est caractérisée par deux périodes homogènes dans les débits annuels, l'une humide (+10% en 1938-1956) et l'autre plus humide avec un écoulement hyper-excédentaire (+32% en 1957-1968). Cela témoigne ici d'un exemple de disparité de l'écoulement à Mobaye en réponse à P sur le bassin. Au-delà, l'année exceptionnelle 1968 est marquée par une brutalité de son impact tant sur la pluie que sur l'écoulement. De plus, l'analyse des débits moyens journaliers de crue (Q_{maxi}) et des débits d'étiage journaliers (Q_{mini}) a établi son impact sur ces deux variables (Fig. 4) : le maximum de crue en 1968 (10 200 m³/s) s'oppose à un débit d'étiage (660 m³/s), illustrant une mauvaise corrélation entre les débits extrêmes et les modules annuels de périodes hydroclimatiques. Ce fait justifie une absence de mise en réserve et donc une perte de la ressource par ruissellement rapide de crue sur le bassin. Cela démontre aussi qu'une crue maximale peut être suivie d'un étiage sévère en une année hydrologique. Cela pré luderait à une certaine prépondérance du tarissement et donc du faible soutien de l'aquifère du bassin à l'écoulement.

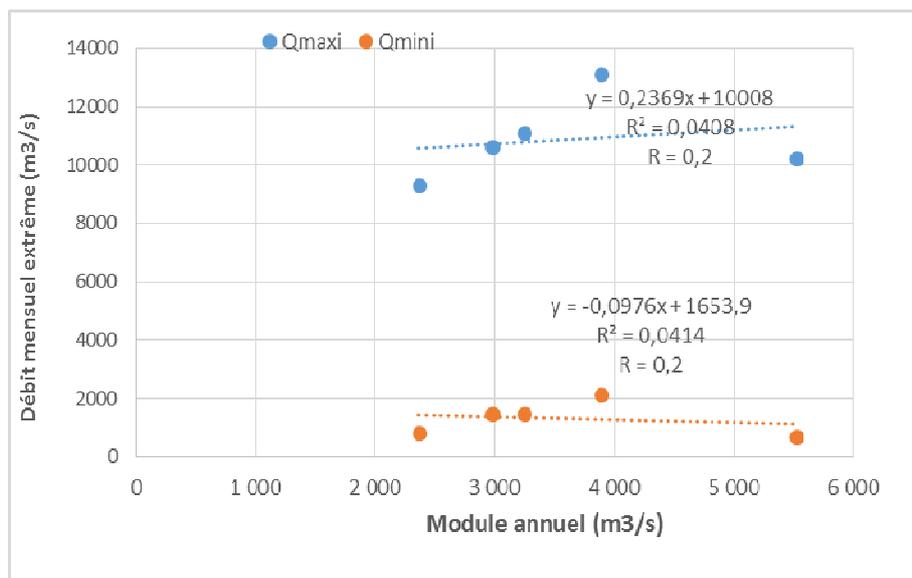


Figure 4. Evolution du débit moyen journalier de crue et du débit moyen journalier d'étiage en fonction du module annuel à Mobaye selon les périodes hydroclimatiques détectées.

Du tarissement et du soutien de l'aquifère à l'écoulement

Le coefficient de tarissement et le volume mobilisé par l'aquifère sont calculés grossièrement sur la période 1938-1975. Le coefficient moyen interannuel de tarissement est de 0.019 jour^{-1} , avec un maximum de 0.026 jour^{-1} (1972-1973) et un minimum de 0.015 jour^{-1} (1968-1969). Pendant que le volume moyen mobilisé par l'aquifère du bassin est de 36.3 km^3 , le maximum enregistré étant de 62 km^3 en 1968-1969 et le minimum de 20 km^3 en 1972-1973, soit un rapport de 3 (Fig. 5). Le coefficient de tarissement est déjà élevé sur la période 1938-1957 avec en moyenne 0.02 jour^{-1} ; le maximum est observé en 1940-1941 (0.02 jour^{-1}) et le minimum en 1956-1957 (0.022 jour^{-1}). Bien que la courbe du tarissement fluctue, celle-ci indique une tendance à la hausse des coefficients avec de très faibles valeurs en 1938-1939 (0.016 jour^{-1}) et en 1942-1943 (0.015 jour^{-1}). Cette accentuation du tarissement est notée également sur la période 1969-1975 : les valeurs élevées sont de 0.024 jour^{-1} (1971-1972), 0.025 jour^{-1} (1972-1973) et 0.023 jour^{-1} (1974-1975). Dans ce contexte, nous remarquons néanmoins un certain soutien des aquifères aux écoulements à l'exutoire de Mobaye, traduit par des décrochages entre les courbes de tarissement et du volume mobilisé par l'aquifère selon les années (1941-192, 1950-1951, 1955-1956, 1968-1969 et 1974-1975) i.e. la courbe du tarissement se détache de celle du volume mobilisé par l'aquifère du bassin. En effet, en certaines années (1941-1942, 1942-1943, 1950-1951, 1968-1969 et 1973-1974), les écoulements de l'Oubangui sont plus importants à Mobaye ; en d'autres (1944-1945, 1945-1946, 1955-1956 et 1969-1970), la remontée de la nappe réduit le tarissement. Ainsi, nous notons une réactivité par pulsation de l'aquifère du bassin, et donc un soutien discontinu de l'écoulement à Mobaye. Les indices de tarissement et du volume mobilisé par aquifère exposent de médiocres tendances opposées respectivement à la hausse (Fig. 5a) et à la baisse (Fig. 5b). En 1968-1969, l'indice maximum du volume mobilisé par aquifère coïncide avec l'un des plus bas niveaux de celui du tarissement, tout comme en 1942-1943 ; en revanche, 1972-1973 a connu l'indice le plus fort du tarissement et le plus faible niveau d'aquifère mobilisé. Cette dynamique établit de réponses hydrologiques variées ou divers comportements du bassin.

De divers comportements hydrologiques de l'Oubangui en amont du bassin congolais

L'examen des comportements hydrologiques de l'Oubangui à Mobaye a permis d'en remarquer deux types dans son fonctionnement ou du moins de celui de son bassin-versant : i) les excédents et déficits pluviométriques sur le bassin n'affectent pas de manière linéaire la réponse fluviale, et ii) l'impact de la sécheresse actuelle a été tardif sur ce cours d'eau.

Du premier constat, l'Oubangui à Mobaye a présenté une hydrologie excédentaire de 1938 à 1980 (Tableau 2), bien que la sécheresse en cours ait précocement débuté dans son bassin en 1968-1969.

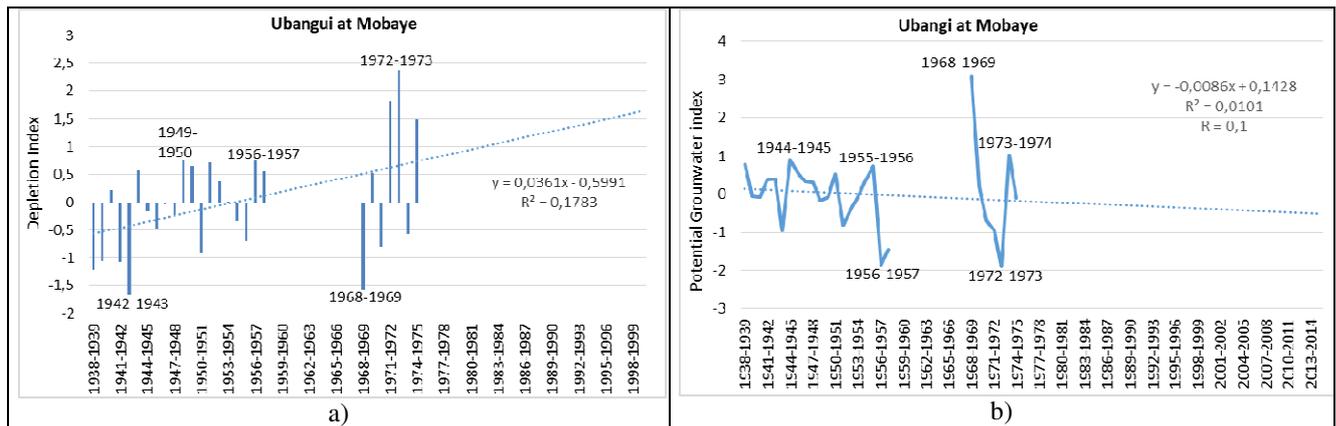


Figure 5. Evolution interannuelle des indices de tarissement de l'Oubangui à Mobaye (a) et du volume mobilisé par l'aquifère (b) de son bassin versant (1938-1976).

L'année 1981 ou le début des années 1980 témoigne en Afrique d'une accentuation de l'effet de cette sécheresse sur les grands cours d'eau ou bassins (MAHE, 1995 ; LARAQUE *et al.*, 1997 ; OLIVRY *et al.*, 1998 ; NGUIMALET & ORANGE, 2019),, alors que GOULA *et al.* (2006) et FADIKA *et al.* (2008) ont révélé à cette date la sensibilité des petits cours d'eau et bassins à l'impact de ce phénomène dans leur fonctionnement. Ainsi, NGUIMALET & ORANGE (2020) ont aussi établi l'impact de cette sécheresse dans trois petits bassins (2 000 à 5 000 km²) du Centre centrafricain, confirmant son pic en 1987-1988. Ces auteurs ont montré donc un impact tardif de ce phénomène sur les petites rivières ou bassins élémentaires vers 1980 en Afrique de l'Ouest, comparé aux grands cours d'eau qui ont enregistré la cassure climatique majeure de 1970. Recueillant aussi l'impact de cette sécheresse sur son cours amont, l'Oubangui à Mobaye a réagi comme un « petit » cours d'eau après 1981. Cela s'expliquerait par la diversité de ses réponses hydrologiques par période d'écoulement homogène, surtout depuis 1969 (Tableau 2). Dans cette période très sèche (1981-2013), l'Oubangui à Mobaye a recueilli une réduction de -20% sur ses débits moyens annuels. Par exemple, la Sangha à Ouessou est déficitaire sur ses modules de -9% sur la période 1970-2008, alors que le Congo à Brazzaville n'est plus déficitaire depuis 1990 (LARAQUE *et al.*, 2013).. Ces résultats témoignent d'une diversité de réponses hydrologiques dans le bassin congolais, interagissant selon les cas aux facteurs de l'écoulement (géologie, couvert végétal ou hétérogénéité spatiale de leurs bassins), voire aux activités humaines.

Dans cette période sèche, la pluviosité sur le bassin a connu deux cycles opposés de durées inégales : le premier déficitaire (1969-2006) et le second excédentaire (2007-2013). Malheureusement, cette reprise pluviométrique (Fig. 2) n'a pas engendré une abondance hydrologique sur ce cours d'eau (Tableau 2),, en dépit du fait que le couvert végétal du bassin ait été faiblement affecté par l'anthropisation (NGUIMALET & ORANGE, 2013). Cette situation amène à montrer une relation statistique moyenne entre la pluviosité et l'écoulement ($r = 0,58$) qui signifierait une relation non-linéaire entre ces variables (Fig. 6). Autrement dit, la pluie seule ne suffit à expliquer le comportement hydrologique de l'Oubangui à Mobaye : une pluviosité moyenne de 1 500 mm peut à la fois donner des écoulements annuels abondants comme en années humides (1961-1962, 1962-1963 ou 1968-1969) ou de faibles en années sèches (1984-1985, 1990-1991 ou 2011-2012). D'autres facteurs pourraient s'y ajouter comme le réchauffement global, les feux de brousse et ceux ci-haut cités.

Dans le Nord du bassin congolais, la disponibilité en eau du bassin est faible sur la Sangha à Ouessou (1 216 mm) comparée à l'Oubangui à Mobaye (1 265 mm), au regard d'une pluviosité respective de 1 532 mm et 1 506 mm. Dans le même ordre, l'écoulement moyen interannuel est plus abondant à Ouessou (316 mm ; $r = 0,56$) qu'à Mobaye (240 mm ; $r = 0,59$). Ces résultats exposent des tendances à la baisse des écoulements plus accusées à Mobaye qu'à Ouessou. Attestés par les coefficients d'écoulement ou CE (16% à Mobaye, et 26% à Ouessou), ils établissent un relatif soutien des aquifères du bassin à Mobaye et surtout le rôle d'éponge des grès de Carnot et bénéfique d'écran forestier sur l'écoulement de la Sangha.

CONCLUSION

L'étude des chronoséquences de pluie et de débit de l'Oubangui à son exutoire de Mobaye sur la période 1938-2015 montre une précocité de la cassure climatique majeure en 1968 et 1969 respectivement dans ces séries face à la cassure majeure de 1970. Depuis ces « dates majeures », la pluviosité n'a enregistré qu'une seule rupture qui a déterminé deux périodes homogènes, l'une déficitaire de -5% (1969-2006) et l'autre excédentaire de +5% (2007-2013). En revanche, la série hydrologique a une rupture déficitaire en 1980 date établie de l'accentuation de la sécheresse actuelle en Afrique, induisant deux périodes homogènes. La première période

(1969-1980) est faiblement excédentaire (+1%), et la seconde (1981-2013) est sèche, voire plus sèche, avec un déficit d'écoulement (-20%). Un fait important à remarquer est que les périodes pluviométriques homogènes sont parallèles ou différentes à celles des débits. Cela crée donc des comportements différents, d'une variable étudiée vis-à-vis de l'autre, confirmant l'évidence de comportements hydrologiques variés dans cette partie du bassin de l'Oubangui, voire du haut-bassin congolais. Cela décrit une réponse non linéaire du cours d'eau face aux excédents et/ou déficits pluviométriques.

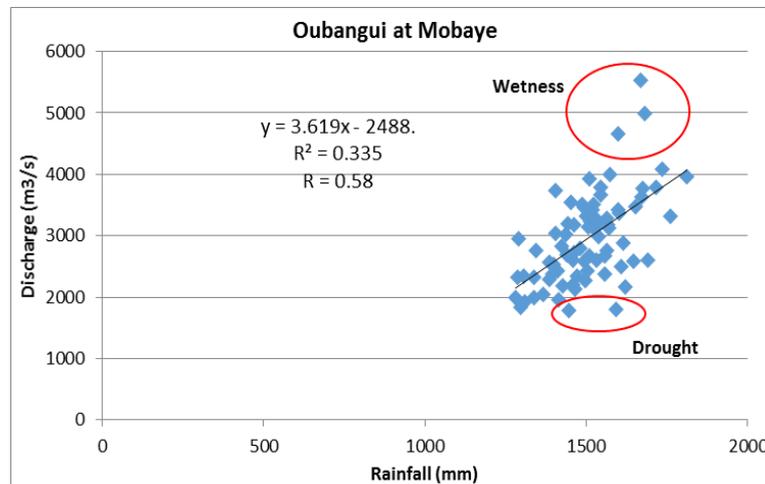


Figure 6. Relation pluie sur le bassin et débits annuels sur l'Oubangui à Mobaye (1938-2015).

Autres faits dans cet ordre sont qu'une pluviosité moyenne de 1 500 mm peut à la fois donner, selon les années, des modules abondants et/ou faibles. Ce comportement hydrologique pose un souci de la réactivité d'écoulement de l'Oubangui à Mobaye. Il apparaît donc que l'écoulement à Mobaye est différé par rapport à l'effet de la pluie ou se réalise probablement après un cumul de réserve d'eau. Au-delà, le ruissellement de crue consécutif à une averse ou un orage justifie d'un faible écoulement annuel. Ce comportement expliquerait la réponse tardive en 1980 (1981-2013) de l'Oubangui à Mobaye à la rupture climatique comme un « petit » cours d'eau, ou bassin élémentaire, du fait peut-être de sa position amont par rapport à Bangui.

Par ailleurs, l'examen des débits annuels et extrêmes à Mobaye par régression linéaire montre des tendances à la baisse assez positives sur les modules ($r = 0.59$) que sur les étiages ($r = 0.47$) et les crues ($r = 0.40$) (NGUIMALET, 2020). Cela révèle que les modules sont plus affectés par l'assèchement en cours que les débits extrêmes. Ce contexte hydroclimatique déficitaire apparaît plus sévère sur l'Oubangui à Mobaye, malgré la présence du couvert forestier et d'un éventuel soutien des nappes. Alors que le Congo enregistre depuis 1990 un écoulement normal. Malgré une accentuation du tarissement, un soutien des aquifères aux écoulements est observé à Mobaye par des pulsations. Ces résultats traduisent des dynamiques complexes de pluie sur le bassin et d'écoulement à Mobaye, entre hausse et baisse pluviométrique et hydrologique, voire de normale hydrologique (1969-1980). Cela implique une relative recharge de la nappe à Mobaye, malgré les faibles réductions pluviométriques, explicitant l'importance du déficit hydrologique sur l'Oubangui comparé à la Sangha (-9%).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AZOUKA J. B., 2011. *Variabilités de pluie et de débit dans le bassin-versant de l'Ouham à Batangafo (1950-1995)*. Mémoire Maîtrise, Géographie, Fac. Lettres et Sci. Hum., Université de Bangui (RCA), 99 p.
- BOULVERT Y., 1986. Carte phytogéographique de la République Centrafricaine à 1 : 000 000^e. Ed. OROSTOM, Collection Notice explicative, n°104, Paris, 128 p.
- BOULVERT Y., 1996. *Etude géomorphologique de la République centrafricaine. Carte à 1 : 1000000^e en deux feuilles (Ouest et Est)*. ORSTOM éd., Coll. Notice Explicative, 110, Paris, 258 p.
- BOULVERT, Y., 1990. Avancée ou recul de la forêt centrafricaine. Changements climatiques, influence de l'homme et notamment des feux. In : *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*, R. Lanfranchi and D. Schwartz (eds), Collect. Didactiques, ORSTOM, : 353-366.
- BRUEL G., 1899. L'Oubangui, voie de pénétration dans l'Afrique Centrale Française ? Paris, Plon édit. 1 broch., 16 ph., 1 carte. Bibl. ill. des voyages autour du monde, 69 : 5-32.
- BRUEL G., 1902. Note sur la météorologie du Haut-Chari. *Mémoires, Société Météorologique de France*, 50e Année, avril 1902, 69-77.

- CALLEDE J., Y. BOULVERT & THIEBAUX J.-P., 2009. Le bassin de l'Oubangui. IRD Éditions, Collection : Monographies Hydrologiques, Marseille, France, 657 p.
- CENSIER C., LANG J., MBONGO B.H. & LATOU A., 1992. Mise en évidence d'une formation glaciaire paléozoïque dans l'Est de la République Centrafricaine : la Formation Glaciaire de la Kombélé. C.R. Acad. Sci. Paris, 315 (II) : 711-715.
- COSANDEY C., Ed. Sc., 2003. Les eaux courantes. Géographie et environnement. *Editions BELIN, Coll. Géographie*, Paris, 240 p.
- FADIKA V., GOULA Bi Tié A., KOUASSI F. W., DOUMOUYA I., KOFFI K., KAGAMATE B., SAVANE I. & SROHOROU B., 2008. Variabilité interannuelle et saisonnière de l'écoulement de quatre cours d'eau de l'Ouest côtier de la Côte d'Ivoire (Tabo, Dodo, Néro et San Pédro) dans un contexte de baisse de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest. *Eur. J. Sci. Res.*, **21** (3) : 406-418.
- GOULA B. T. A., SAVANE I., KONAN B., FADIKA V. & KOUADIO G. B., 2006. Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *Vertigo – Rev. Sci. Environnement*, vol. 7 no1, mai 2006, 1-12.
- JACOB N., GOB F., BRAVARD J.P. & PETIT F., 2006. Les formes fluviales d'une rivière en gorge, le Chassezac <http://géomorphologie.revues.org/document419.html>, 27 p.
- KANOHIN F., SALEY M. B. & SAVANE I., 2009. Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide : cas de la Région de Daoukro en Côte D'ivoire. *Europ. Journ. Sci. Res.*, **26** (2) : 209-222.
- LA MONOGRAPHIE DE LA NOUVELLE PROVINCE DU HAUT-UELE, 2020. <https://www.congo-autrement.com/page/les-26-provinces-de-la-rdc/la-monographie-de-la-province-du-haut-uele.html> consulté le 10 mars 2020
- LARAQUE A., OLIVRY J.-C., ORANGE D. & MARIEU B., 1997. Variations spatio-temporelles des régimes pluviométriques et hydrologiques en Afrique Centrale du début du siècle à nos jours. *FRIEND '97 — Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management* (Proceedings of the Postojna, Slovenia, Conference, September-October 1997). *IAHS Publ.* **246** : 257-263.
- LARAQUE A., BELLANGER M., ADÈLE G., GUEBANDA S., GULEMVUGA G., PANDI A., PATUREL J.E., ROBERT A., TATHY J.P. & YAMBÉLÉ A., 2013. Évolutions récentes des débits du Congo, de l'Oubangui et de la Sangha. *Geo-Eco-Trop*, **37**, 1 : 93-100.
- LUBES-NIEL H., MASSON J.M., PATUREL J.E. & SERVAT E., 1998. Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. Sci. Eau*, **11** : 383-408
- MAHE G., 1995. Modulation annuelle et fluctuations interannuelles des précipitations sur le bassin-versant du Congo. In : BOULEGUE J. & OLIVRY J.C. (Eds) : *Actes du Colloque PEGI Grands Bassins Fluviaux Péri-Atlantiques : Congo, Niger, Amazone*, INSU, CNRS, ORSTOM, 22-24 nov. 1993, Paris, 13-26.
- MAHE G., 2009. Surface/groundwater relationships in two great river basins in West Africa, Niger and Volta. *Hydrological Sciences Journal*, **54** (4) : 704-712.
- MALIBANGAR A., 2000. *Dynamique sédimentaire d'un système fluvial diamantifère d'âge crétacé : la Formation de Mouka-Ouadda (Est de la République centrafricaine)*. Document BRGM : substances minérales et énergétiques, **295**, Orléans, France, 300 p.
- MESTRAUD J.L., avec la collaboration de BESSOLES B., 1982. *Géologie et ressources minières de la République Centrafricaine. État des connaissances à juin 1963*. Édit. BRGM, collection "Mémoires", vol. 60, Orléans, 186 p.
- METTIN J.-L., 1995. *Calcul de la lame d'eau précipitée sur le bassin-versant de l'Oubangui à Mongoumba (1972-1992)*. Mémoire Maîtrise, Géographie, Fac. Lettres et Sci. Hum., Université de Bangui (RCA), 133 p.
- NGUIMALET C.R., 2004. *Le cycle et la gestion de l'eau à Bangui (République centrafricaine). Approche hydrogéomorphologique du site d'une Capitale africaine*. Thèse de l'Université Louis Lumière - Lyon 2, 447 p.
- NGUIMALET C.R., 2017. Changements enregistrés sur les extrêmes hydrologiques de l'Oubangui à Bangui (République centrafricaine) : analyse des tendances. *Revue des Sciences de l'Eau*, **30**, 3 : 183-196.
- NGUIMALET C.R., 2020. Recherche de fluctuations hydroclimatiques dans les débits de crue et d'étiage de l'Oubangui à Mobaye, Haut-bassin Nord-Est du Congo. Extended Abstract, Comm. Orale, *4th International Conference on the Hydrology of African Large Rivers Basins*, 24-28 November, 2020, Cotonou, Benin, 6 p.
- NGUIMALET C.-R. & NDJENDOLE S., 2008. Les extrêmes hydrologiques: des indicateurs d'hydrodynamisme ou d'hydraulicité du plateau gréseux de Mouka-Ouadda sur la rivière Pipi à Ouadda (République Centrafricaine). *Zf Geomorphologie*, **52**, (1) :125-141.
- NGUIMALET C.R. & ORANGE D., 2013. Dynamique hydrologique récente de l'Oubangui à Bangui (Centrafrique) : impacts anthropiques ou climatiques ? *Geo-Eco-Trop*, **37**, 1 : 101-112.

- NGUIMALET C.R. & ORANGE D., 2019. Caractérisation de la baisse hydrologique actuelle de la rivière Oubangui à Bangui, République Centrafricaine. *La Houille Blanche*, 1 : 1-7.
- NGUIMALET C.R. & ORANGE D., 2020, Hydroclimatic variability in Tomi at Sibut, Gribingui at Kaga-Bandoro and Fafa at Bouca basins, in the Central African Republic. In: *Zhongbo Yu et al., Ed Sc : Hydrological Processes and Water Security in a Changing World, 2020 : Proc. IAHS*, 383 : 79-84.
- NGUIMALET C.R., ORANGE D., WATERENDJI J.-P. & YAMBELE A., 2020. accepté. Dynamique hydroclimatique de l'Oubangui amont à Mobaye, République Centrafricaine : étude comparée du rôle de la savane et de la forêt équatoriale. In : *Congo Basin - Hydrology, Climate, and Biogeochemistry: A Foundation for the Future*, ALSDOF D., TSHIMANGA MUAMBA R. MOUKANDI N'KAYA G.D., eds, AGU, John Wiley & Sons Inc, 17 p.
- NZANGO C.J.M., 2018. Les barrages de l'Oubangui : de l'impact hydraulique actuel à la prospective environnementale. Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans, Editions ANRT, 274 p.
- NZANGO C., TOUCHART L. & BARTOUT P., 2019. Analyse de l'influence d'un barrage à obstruction partielle sur les régimes hydrosédimentaires de la rivière Oubangui (bassin du Congo). *Norois* [En ligne], 253 | 2019, mis en ligne le 02 janvier 2020, consulté le 28 avril 2020. URL : <http://journals.openedition.org/norois/9504> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/norois.9504>
- OLIVRY J.-C., BRIQUET J. P. & MAHE G., 1998. Variabilité de la puissance des crues des grands cours d'eau d'Afrique intertropicale et incidence de la baisse des écoulements de base au cours des deux dernières décennies. *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century* (Proceedings of the Abidjan'98 Conference held at Abidjan, Côte d'Ivoire, November 1998). *IAHS* 252 :189-197.
- ORANGE D., FEÏZOURE C., WESSELINK A. & CALLEDE J., 1995. Variabilités hydrologiques de l'Oubangui à Bangui au cours du XX^e siècle. *Actes des Journées Scientifiques FRIEND-AOC* (Cotonou, Bénin), Edn UNESCO, 25 p.
- ORANGE D. & GHILOUFI M., 1996. Etude de l'impact des feux sur l'érosion des sols à partir des transports solides des cours d'eau en milieu tropical humide (RCA). DEA ENGEES, Montpellier; Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, Montpellier, 135 p.
- ORANGE D., WESSELINK A., MAHE G. & FEÏZOURE C., 1997. The effects of climate changes on river baseflow and aquifer storage in Central Africa. *Proceedings of Rabat Symposium, 5th IAHS Assembly, IAHS Sustainability of water resources under increasing uncertainty*, 240 : 113-123.
- PATUREL J. E., SERVAT E., DELATTRE M. O. & LUBES-NIEL H., 1998. Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 43 (6) : 937-946.
- PATUREL J. E., BARRAU C., MAHE G., DEZETTER A. & SERVAT E., 2007. Modelling the impact of climatic variability on water resources in West and Central Africa from a non-calibrated hydrological model. *Hydrological Sciences Journal* 52 (1): 38-48.
- RUNGE J. & NGUIMALET C.R., 2005. Physiogeographic features of the Oubangui catchment and environmental trends reflected in discharge and floods at Bangui 1911-1999, Central African Republic. *Geomorphology*, 70, 3-4 : "Tropical rivers", E.M. LATRUBESSE, J.C. STEVAUX & R. SINHA édit., : 311-324.
- SAVANE I., COULIBALY K.M. & GIOAN P., 2003. Etude comparative de trois méthodes de calcul du coefficient de tarissement des cours d'eau. *Sécheresse*, 14 (1).
- SERVAT E., PATUREL J.-E., LUBES-NIEL H., KOUAME B., MASSON J. M., TRAVAGLIO M. & MARIEU B., 1999. De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne. *Rev. Sci. Eau*, 12 (2) : 363-387.
- SIGHOMNOU D., SIGHA L., LIENOU G., DEZETTER A., MAHE G., SERVAT E., PATUREL J.E., OLIVRY J.C., TCHOUA F. & EKODECK G.E., 2007. Impacts des fluctuations climatiques sur le régime des écoulements du fleuve Sanaga au Cameroun, perspectives pour le XXI^{ème} siècle. FRIEND International Seminar, *Technical Document in Hydrology*, UNESCO Paris Ed., 80 : 173-182.
- WESSELINK A., ORANGE D. & RANDRIAMIARISOA, 1995. Les débits moyens mensuels de 13 stations hydrométriques du bassin de l'Oubangui (1986-1993). Projet PNUD/OMM CAF91 « Assistance Agrohydrométéorologique et Surveillance de l'Environnement », Rapport fait à Bangui en novembre 1994, Centre ORSTOM et modifié à Montpellier, mars 1995, 32 p.
- WESSELINK A., ORANGE D., RANDRIAMIARISOA & FEÏZOURE C., 1996. Les régimes hydroclimatiques et hydrologiques d'un bassin-versant de type tropical humide : l'Oubangui (République centrafricaine). In : *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement*, CHEVALLIER P. et POUYAUD B. édit., 238 : 179-194.