



La variabilité hydrologique du bassin d'Oubangui et son impact sur la transhumance dans le Nord-Est de la République Centrafricaine

BALAMOTO Triomphe¹, Thérèse NTUMBA MOKOLA MULANGU², MOSETE BUNGALASA Corneille³, KAKULE KASEREKA Roland^{2,3}

²Centre de Recherches Géologiques Et Minières

³Université Pédagogique Nationale (UPN)

Résumé : La variabilité hydrologique du bassin d'Oubangui joue un rôle crucial dans les dynamiques environnementales et socio-économiques de la région. Cette étude examine comment les fluctuations des précipitations et des débits influencent les pratiques de transhumance dans le nord-est de la République Centrafricaine. Le bassin d'Oubangui, caractérisé par des variations saisonnières importantes, est sujet à des fluctuations hydrologiques qui affectent la disponibilité des ressources en eau. Ces variations impactent directement les activités pastorales, notamment la transhumance, qui dépend de l'accès à l'eau et aux pâturages.

L'analyse de la variabilité hydrologique a été réalisée à l'aide de modèles hydrologiques et d'analyses spatio-temporelles des données climatiques et hydrologiques grâce à la télédétection. Les données ont été collectées à partir de stations météorologiques et hydrométriques locales. Les résultats montrent une variabilité significative des précipitations et des débits dans le bassin d'Oubangui, avec des périodes de sécheresse et de crues marquées. Ces variations influencent les routes de transhumance, obligeant les éleveurs à adapter leurs déplacements en fonction de la disponibilité des ressources en eau.

La variabilité hydrologique a des impacts socio-économiques importants sur les communautés pastorales. Les périodes de sécheresse prolongée réduisent les pâturages disponibles, augmentant les conflits pour les ressources. Les éleveurs doivent adopter des stratégies d'adaptation, telles que la diversification des sources de revenus et la modification des itinéraires de transhumance. La gestion de la variabilité hydrologique est essentielle pour soutenir les pratiques de transhumance et assurer la résilience des communautés pastorales. Des recherches futures devraient se concentrer sur le développement de systèmes de gestion intégrée des ressources en eau et sur l'amélioration des prévisions climatiques pour mieux anticiper les variations hydrologiques.

Mots clés : Variabilité hydrologique ; Bassin d'Oubangui ; Précipitations ; Débits fluviaux ; Transhumance, Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.21929879>

1 Introduction

Depuis quelques décennies, un intérêt soutenu se manifeste sur le climat et sa variabilité. Les implications de cette variabilité sur les ressources en eau sont particulièrement fortes et touchent, à leur tour, de très nombreux secteurs d'activités humaines et environnementales (Ardoin, 2004). La régulation des différents besoins aux usages de l'eau dans ces secteurs dépend des tendances normales ou moyennes du cycle hydrologique. Ces tendances sont le résultat des conditions stationnaires qui se sont développées suite à un équilibre de différents facteurs environnementaux (Soraya, 2008). Ce travail se propose grâce à l'apport du SIG, d'étudier les traces de la navigation afin de localiser les endroits où des sédiments dus aux dépôts alluvionnaires sur la rivière Oubangui en vue de proposer de pistes de solution.

En effet, les phénomènes naturels tels que El-Nino Southern Oscillation (ENSO), Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT), Oscillation Nord-Atlantique (NOA), la Température de Surface des Mers, les Jets Atmosphériques, etc. sont connus comme les causes naturelles de la variabilité climatique et exercent une influence importante sur les ressources en eau du continent Africain (Camberlin, 2007). À ces phénomènes s'ajoutent le changement d'utilisation des terres qui est lié à la croissance démographique et autres activités anthropiques telles que la déforestation, l'exploitation minière, l'agriculture, qui ont toutes un impact sur l'équilibre du cycle hydrologique (Liéno, 2007).

Par ailleurs, la perturbation dans ces équilibres engendre aussi la perturbation dans les tendances normales du cycle hydrologique, ce qui a des implications sur la distribution et la gestion des ressources en eau disponibles (Servat et al. 1999).

Cependant, au cours des dernières décennies, il a été observé une perturbation des tendances normales des paramètres du cycle hydrologique dans le bassin de l'Oubangui. Selon la CICOS, ces perturbations seraient liées aux effets du changement climatique, à la déforestation, à la sédimentation ou ensablement des chenaux, aux activités anthropiques et à l'avancée de l'onde de la Sahélisation vers le nord du bassin d'une part et l'avancée de l'onde de la Kalaharisation vers le sud du bassin d'autre (CICOS, 2007). Il s'avère alors important que les études soient menées pour identifier les causes de ces perturbations dans le cycle hydrologique du bassin de l'Oubangui, car le déficit hydrologique, responsable de la réduction de la période de navigation sur la rivière Oubangui, matérialisé par l'apparition d'importants bancs de sable qui affectent le nombre de jours de navigation, constitue alors un frein dans le processus de développement de la République Centrafricaine. Ainsi, la recherche des causes de cette problématique, participera à coup sûr, à l'amélioration de la navigation sur la rivière Oubangui.

La problématique de l'innavigabilité sur la rivière Oubangui réside dans la baisse du débit de bassin qui affecte le nombre de jours de navigation. Cette réduction progressive de jours de navigation sur cette autoroute aquatique bloque, au fil du temps, les échanges commerciaux entre la République Démocratique du Congo et la République Centrafricaine et voire même avec la République du Congo et entraîne la diminution d'emplois dans ce secteur.

Au vue de ce qui précède, nous nous sommes posés des questions qui feront l'objet d'analyse dans notre étude :

1. Qu'est-ce qui empêche la navigation permanente sur la rivière Oubangui ?
2. Quels sont les impacts socio-économiques et environnementaux liés à l'innavigabilité de cette rivière ?
3. Comment résoudre le problème de la navigabilité ?

2 Matériel et Méthodes

2.1 Matériel

Le fleuve Oubangui (pour les habitants de la RCA), appelé Rivière *Ubangi* en République Démocratique du Congo (RDC, ex-Zaïre) est l'un des principaux tributaires du fleuve Congo. Il prend son nom à la jonction de deux rivières : Uélé (appelé également *Ouellé* ou *Makoua*) et le Mbomou (dit encore *Bomu* ou *Kengou*), entre Ouango et Limassa. En ce point, l'Oubangui est à 1 100 km de son confluent avec le fleuve Congo, mais l'ensemble Uélé-Oubangui dépasse 2 200 km de longueur. L'Uele, dont le cours est entièrement congolais, est le principal tributaire de l'Oubangui. Il prend sa source vers 1700 m d'altitude, sur l'interfluve Congo-Nil. Sa longueur est de l'ordre de 1170 km. Le Mbomou a une longueur de 966 km. Il prend sa source au point triple frontalier entre le Soudan du Sud, la RDC et le Centrafrique, à une altitude d'environ 720 m. Le bassin s'étend de la latitude 00°30' S à 09°16' N, tandis qu'en longitude il va de 015°35' E à 030°57' E. Quant à nous, à l'aide du SIG, sa superficie est de 650.00Km.



Figure 1. Localisation du bassin versant

Source : NGUIMALET (2007)

La figure 1 nous permet de localiser le bassin de l'Oubangui et ces limites. On remarque à travers cette carte que le bassin de l'Oubangui est entouré de presque tous les pays de la CICOS.

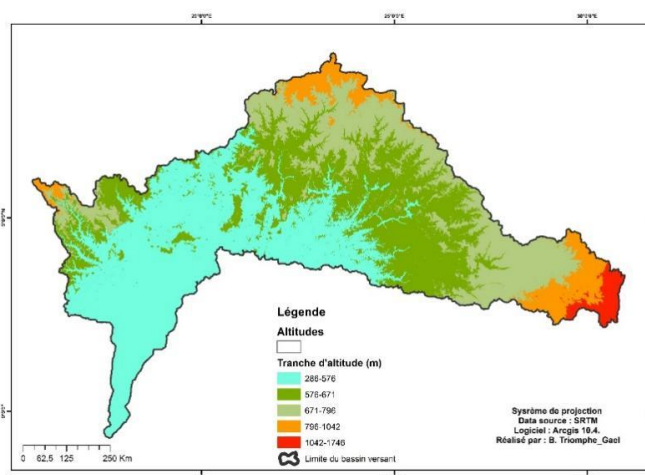


Figure 2. Topographie du bassin versant

La prédominance des plateaux n'empêche pas l'existence de rapides sur les rivières. Tel est le cas de l'Oubangui, du Mbomou, de la Kotto, de la Mpoko, de la Mbali, de la Lobaye, etc.

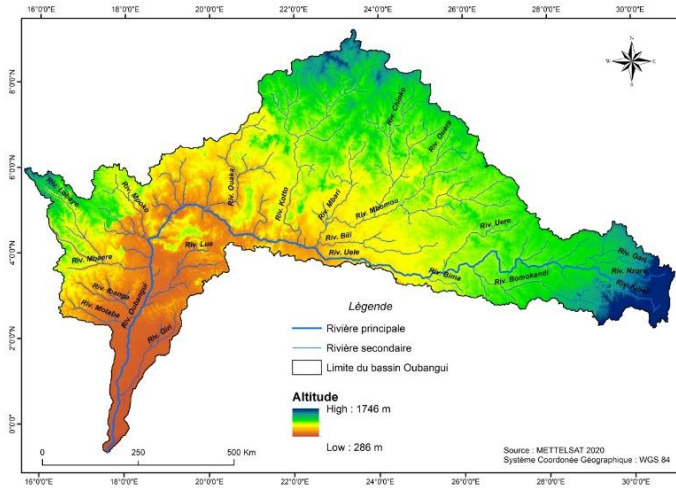


Figure 3. Hydrographie du bassin versant

Cette figure nous montre les différents réseaux hydrographiques du bassin versant de l'Oubangui dont le principal est la rivière Oubangui.

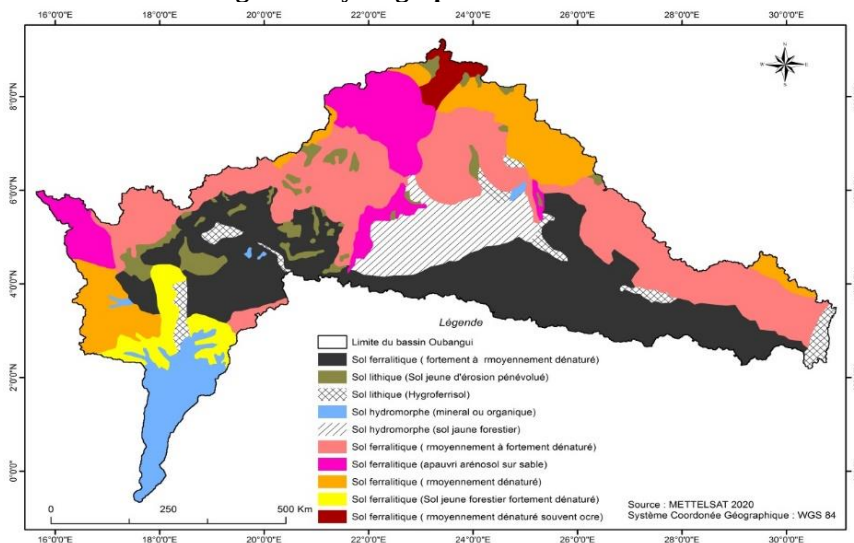


Figure 4. Pédologie du bassin versant

Source : réalisé par l'auteur

Deux types de sols caractérisent le bassin versant : les sols ferralitiques plus ou moins indurés et les sols jeunes d'érosion. Les sols ferralitiques couvrent les 3/4 de la surface du bassin versant. Les sols jeunes d'érosion sont développés sur les reliefs rocheux et sur les escarpements séparant les surfaces d'aplanissement. On les trouve épars sur le bassin versant.

2.2 Cadre méthodologique

Pour y parvenir, nous avons utilisé plusieurs méthodes et techniques mais la méthode qui nous a semblé la plus importante est la méthode d'observation indirecte qui est partie de la télédétection qui grâce à elle nous avons pu délimiter notre bassin versant et observer les phénomènes à travers les images satellitaires et les photos aériennes de la zone d'étude. Plusieurs cartes ont été élaborées afin d'avoir une vue d'ensemble du phénomène de l'innavigabilité dans ladite zone d'étude. Pour se faire, nous avons usé du SIG, des techniques de télédétection, et des données d'observation de la terre, avec l'aide essentiellement du logiciel Arc Gis 10.4.

Afin de mieux caractériser la variabilité hydrologique du bassin de l'Oubangui et d'apprécier ses implications sur les activités de transhumance et les conditions de navigation, plusieurs indicateurs hydrologiques et spatiaux ont été retenus. Les principaux indicateurs hydrologiques considérés sont les débits moyens mensuels et interannuels (m^3/s), les variations des débits entre différentes périodes, les hauteurs d'eau, le mouillage au niveau des principaux seuils, notamment celui de Zinga, ainsi que les dates d'ouverture et de fermeture de la navigation et le nombre de

jours d'arrêt de la navigation. Ces indicateurs permettent de caractériser les périodes d'étiage et de hautes eaux et d'identifier les fluctuations susceptibles d'influencer la disponibilité des ressources en eau.

L'analyse spatio-temporelle a été réalisée par croisement des séries chronologiques hydrologiques avec les données d'observation de la Terre et les informations spatiales disponibles sur le bassin. L'analyse temporelle a consisté à comparer les paramètres hydrologiques entre différentes périodes afin d'identifier les tendances et les variations interannuelles et saisonnières. Les débits mensuels ont notamment été comparés entre les périodes considérées comme humides et arides afin de mettre en évidence les différences de régime hydrologique.

Sur le plan spatial, les données de télédétection et les outils SIG ont été utilisés pour délimiter le bassin versant, caractériser le réseau hydrographique et identifier les principales zones de dépôts alluvionnaires et de bancs sableux. L'analyse diachronique des images satellitaires a permis d'observer la distribution et l'évolution spatiale des bancs de sable le long des principaux tronçons étudiés. Les informations hydrologiques ont ensuite été mises en relation avec les caractéristiques spatiales observées afin d'identifier les secteurs où la diminution des niveaux d'eau et l'apparition des dépôts sableux sont susceptibles de limiter la navigabilité.

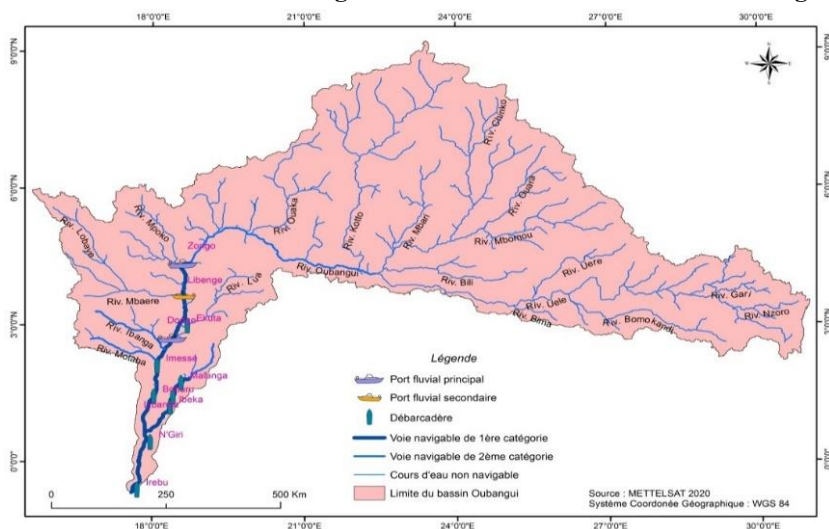
En ce qui concerne les activités pastorales, l'analyse repose sur la relation entre la disponibilité saisonnière des ressources en eau, les conditions de pâturage et l'adaptation des itinéraires de transhumance. Les périodes de déficit hydrologique sont ainsi considérées comme des périodes susceptibles de réduire l'accessibilité aux points d'eau et aux espaces pastoraux et, par conséquent, d'influencer les déplacements des éleveurs et des troupeaux. Cette approche permet de considérer simultanément les dimensions hydrologique, spatiale et pastorale du phénomène étudié.

L'ensemble des opérations de traitement, de spatialisation, de comparaison et de cartographie a été réalisé à l'aide des outils de Système d'Information Géographique et de télédétection, notamment le logiciel ArcGIS 10.4. Cette démarche a permis d'intégrer les données hydrologiques, spatiales et environnementales dans une même analyse afin de mieux comprendre la dynamique spatio-temporelle du bassin de l'Oubangui.

3 Analyse des résultats et discussion

Cette note examine successivement deux principaux points : les conditions de navigabilité, les causes des contraintes à la navigation.

3.1 Les conditions de navigation dans le bassin versant de l'Oubangui



La rivière est de nos jours, navigable seulement sur une longueur d'environ 600 km en aval de Bangui, et cela ne s'effectue qu'en saison de hautes eaux suite à des travaux d'entretiens réalisés par le SCEVN pour garantir un tirant d'eau nécessaire à la navigation

Figure 5. Les voies navigables dans le bassin de l'Oubangui

Source : Réalisé par l'auteur

Les conditions de navigabilité (cf. le tableau ci-dessous) ont été établies à partir des dates de navigations. Les dates d'arrêt et d'ouverture de la navigation ont été comparées aux débits mesurés à Bangui et permettent d'estimer la condition de navigabilité à 1160 m³/s en aval d'Impfondo et à 1360 m³/s en amont. Il faut donc assurer au minimum 1360 m³/s à Bangui.

Tableau I : Conditions de navigabilité sur la rivière Oubangui durant 12 ans (1999 à 2010)

Année				
Tronçon Bangui- Impfondo		Tronçon Impfondo-Kinshasa		
	Arrêt	Ouverture	Arrêt	Ouverture
1999	1206	1290	--	--
2000	1359	1324	1044	1197
2001	1470	1240	1330	1084
2002	1274	1308	1076	1180
2003	1593	1333	1350	1265
2004	1377	1386	1140	1148
2005	1413	1350	1214	1052
2006	1377	1240	1164	1240
2007	1282	1350	1140	1256
2008	1274	1640	1052	1100
2009	1404	1521	1140	1140
2010	1342	--	1020	--
Moyenne	1364	1362	1152	1166
Moyenne	1363		1159	

Il ressort de la lecture du tableau ci-haut sur des conditions de navigabilité sur la rivière Oubangui durant 12 ans (1999 à 2010), des observations ci-après :

- ✓ Entre Bangui - Impfondo, le débit liquide à la date de l'arrêt de navigation varie entre 1206 m³/s et 1593 m³/s par contre à la date d'ouverture le débit liquide varie de 1240m³/s et 1640m³/s ;
- ✓ Entre Impfondo - Kinshasa, le débit liquide à la date de l'arrêt de navigation varie de 1020 m³/s et 1350 m³/s par contre à la date d'ouverture le débit liquide varie de 1052m³/s et 1265m³/s ; Eu égard à cela, nous pensons qu'il se pose un problème majeur dans la gestion de l'exploitation fluviale car on ferme la navigation avec un débit liquide de 1593 m³/s et on ouvre par moment avec un débit inférieur de 1240m³/s.

3.2 Seuil de navigation

Il existe deux seuils contraignants pour la navigation dont le principal est celui de Zinga :

✓ Seuil de Boyélé (PK 362) : entre Boyélé et Bangui (PK 600), caractérisé par un fond rocheux auquel s'ajoute le seuil d'Izato, PK 472. Ce seuil rocheux se situe en aval de l'échelle de Zinga et lorsque l'échelle de Zinga est à 0 m, nous avons une profondeur (mouillage garantie) de 0,95 m sur les roches et le tirant d'eau admis est de 0,65 m sur toute cette passe.

✓ Seuil de Zinga (PK 525-527.5) : est admis comme référence pour ce bief. Le seuil le plus rocheux sur ce bief est à 0,95 m au zéro de l'échelle d'étiage de Zinga et le mouillage garanti est de 0,95 m et le tirant d'eau admis doit être réduit de 30 cm comme pied pilote (marge de sécurité).

Le tableau ci-dessous montre l'échelle et mouillage à Zinga en rapport avec le temps d'ouverture et d'ouverture de navigation.

Tableau II : Échelle et mouillage à Zinga en rapport avec le temps d'ouverture et d'ouverture de navigation

Année	Fermeture de la navigation		Ouverture de la navigation			
	Hauteur d'eau	Mouillage au seuil	Fermeture	Hauteur d'eau	Mouillage au seuil	Ouverture
2000	0,21 m	1,01m	16/2/00	0,30 m	1,03 m	05/6/00
2001	0,50m	1,02m	13/1/01	0,19m	1,02 m	17/5/01
2002	0,24m	1,00m	06/2/02	0,22m	1,00m	08/5/02
2003	0,51m	1,00m	06/2/03	0,26m	1,08m	08/5/03
2004	0,30m	1,01m	08/2/04	0,18m	1,00m	16/5/04
2005	0,40m	1,00m	28/1/05	0,22m	1,02m	11/5/05
2006	0,41m	1,01m	24/1/06	0,22m	1,03m	22/5/06
2007	0,47m	1,01m	24/1/07	0,33m	1,05m	03/6/07
2008	0,22m	1,00m	08/2/08	0,10m	1,02m	22/8/08
2009	0,22m	1,00m	27/1/09	0,80m	1,03m	29/4/09

Source : SCEVN-Bangui 2019.

Les données du tableau ci-dessus, relative à la hauteur d'eau et le Mouillage au seuil de Zinga à la fermeture de la navigation fluviale portées sur 10 ans (2002 à 2009), donnent les indications suivantes :

✓ À Zinga, l'échelle de mouillage à l'ouverture de la navigation varie entre 0,21 m et 0,51m du niveau d'eau avec un mouillage moyen compris entre 1,00m à 1,02m. Il est à noter que la fermeture intervient le plus souvent la dernière semaine du mois de janvier où la première semaine du mois de février.

✓ La lecture de l'échelle à partir de Zinga, nous montre que la fermeture de navigation varie entre 0,10 m et 0,80m du niveau d'eau avec un mouillage moyen compris entre 1,00m à 1,08m. L'ouverture de la navigation intervient le plus souvent la quinzaine du mois de mai où la première semaine du mois de juin. Par ailleurs, Le

nombre de jours l'arrêt de la navigation sur la rivière Oubangui durant 17 ans (1974 à 1990), donne les observations suivantes :

- ✓ Le maximum 129 jours en 1990, le minimum 18 jours en 1981. Il est à signaler que de 1976 à 1977, la navigation fluviale n'a pas exceptionnellement connu l'arrêt de navigation. Une analyse similaire sur 10 ans donne 1046 jours sur la période 2000-2009 soit 105 jours/an en moyenne. Le nombre de jours d'arrêt de la navigation sur la rivière Oubangui durant 10 ans (2000 à 2009), donne les observations suivantes : le maximum était de 129 jours à l'arrêt et en 2007, le minimum était de 74 jours l'arrêt en 2008.

La lecture des données du tableau ci-dessus, relative à la hauteur d'eau et le Mouillage au seuil de Zinga à la fermeture de la navigation fluviale portées sur 10 ans (2002 à 2009), donne les indications suivantes :

- ✓ La lecture de l'échelle à Zinga à d'ouverture de la navigation varie entre 0,21 m et 0,51m du niveau d'eau avec un mouillage moyen compris entre 1,00m à 1,02m. Il est à noter que la fermeture intervient le plus souvent la dernière semaine du mois de janvier où la première semaine du mois de février.

- ✓ La lecture de l'échelle à partir de Zinga, nous montre que la fermeture de navigation varie entre 0,10 m à 0,80m du niveau d'eau avec un mouillage moyen compris entre 1,00m à 1,08m. L'ouverture de la navigation intervient le plus souvent la quinzaine du mois de mai où la première semaine du mois de juin. Par ailleurs, Le nombre de jours l'arrêt de la navigation sur la rivière Oubangui Durant 17 ans (1974 à 1990), donne les observations suivantes :

Le maximum 129 jours en 1990, le minimum 18 jours en 1981. Il est à signaler que de 1976 à 1977, la navigation fluviale n'a pas exceptionnellement connu l'arrêt de navigation. Une analyse similaire sur 10 ans donne 1046 jours sur la période 2000-2009 soit 105 jours/an en moyenne. Le nombre de jours d'arrêt de la navigation sur la rivière Oubangui durant 10 ans (2000 à 2009), donne les observations suivantes : le maximum était de 129 jours à l'arrêt et en 2007, le minimum était de 74 jours l'arrêt en 2008.

3.3 Les contraintes à la navigation sur la rivière Oubangui

3.3.1 Contraintes Géomorphologiques

Tout le linéaire de l'Oubangui est encombré d'îles et de rapides (Cf. la figure ci-dessous). Les îles, appelées localement les « Zoa », diffluent l'écoulement tout en élargissant la vallée, et les rapides, appelés localement les « Sorro », resserrent la vallée et offrent des sites remarquables aux aménagements hydroélectriques, dont les plus représentatifs sont : les rapides de Satema, de Mobaye, de Palambo, de Bangui et de Zinga. À cause et en plus des rapides, nous avons de nombreuses « chutes d'eau » dans le bassin de l'Oubangui. Les plus célèbres d'entre elles sont les chutes de *Kémbé* sur la rivière *Kotto* et les chutes de *Boali* sur la rivière *Mbali*. Ces chutes et rapides ont la particularité de rendre difficile et complexe la navigation fluviale sur le réseau.

3.3.2 Variabilité du débit d'eau

3.3.2.1 Débit mensuel interannuel de la rivière Oubangui

Le débit liquide moyen mesuré dans la rivière Oubangui dans la section de jaugeage de l'hôtel Oubangui à Bangui durant les deux périodes de 1958 à 1990, et celle allant de 1991 à 2018, sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau III : Débits moyens interannuels de l'Oubangui à Bangui (m³/s)

Périodes	Débit moyens-interannuels
1958-1968	7142.39m ³ /s
1969-1979	5803.09 m ³ /s
1980-1990	4086.47 m ³ /s
Baisse	3055.92 m³/s
1991-2001	4523.33 m ³ /s
2002-2012	4312.32 m ³ /s
2013-2018	2434.68 m ³ /s
Baisse	2088.65 m³/s

Source : ORSTOM, Bangui 2019

Le tableau 7 nous donne une idée sur le débit de la rivière Oubangui prelevé par l'ORSTOM.

En effet, dans ce tableau synoptique, la période est divisée en deux, à savoir de 1958 à 1990 et de 1991 à 2018. De la période de 1958 à 1990, l'on remarque une baisse de débit de 3055.92 m³/s et de 1991 à 2018, le débit s'est encore chuté à 2088.65 m³/s. Tout compte fait, il y'a lieu de signaler que de 1958 jusqu'à 2018 soit 60 an, le débit a sensiblement chuté soit de 4707.71 m³/s.

Le débit liquide moyen mesuré dans la rivière Oubangui dans la section de jaugeage de l'hôtel Oubangui à Bangui durant les deux périodes de 1936 à 1970 et celle allant de 1971 à 2007, sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau IV : Débits moyens mensuels interannuel de l'Oubangui à Bangui (m³/s)

Périodes	Janv.	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
1936- 1970	2442	1477	1147	1331	2019	3061	4219	6255	8406	9588	8597	4593	4440
1971- 2007	1621	879	579	638	1116	1916	2857	4395	6174	7228	6570	3350	3119
Baisse	821	598	568	693	903	1145	1362	1860	2232	2360	2027	1243	1321

Source : SCEVN Bangui

L'analyse des débits de l'Oubangui repris dans le tableau 8 est réalisée selon une méthode comparative. L'année humide (origine-1970) est comparée à l'année aride (1971-2007).

De l'analyse du tableau 8, nous comprenons que les débits mensuels interannuels de la période humide (1936-1971) sont supérieurs aux débits de la période aride (1971-2007).

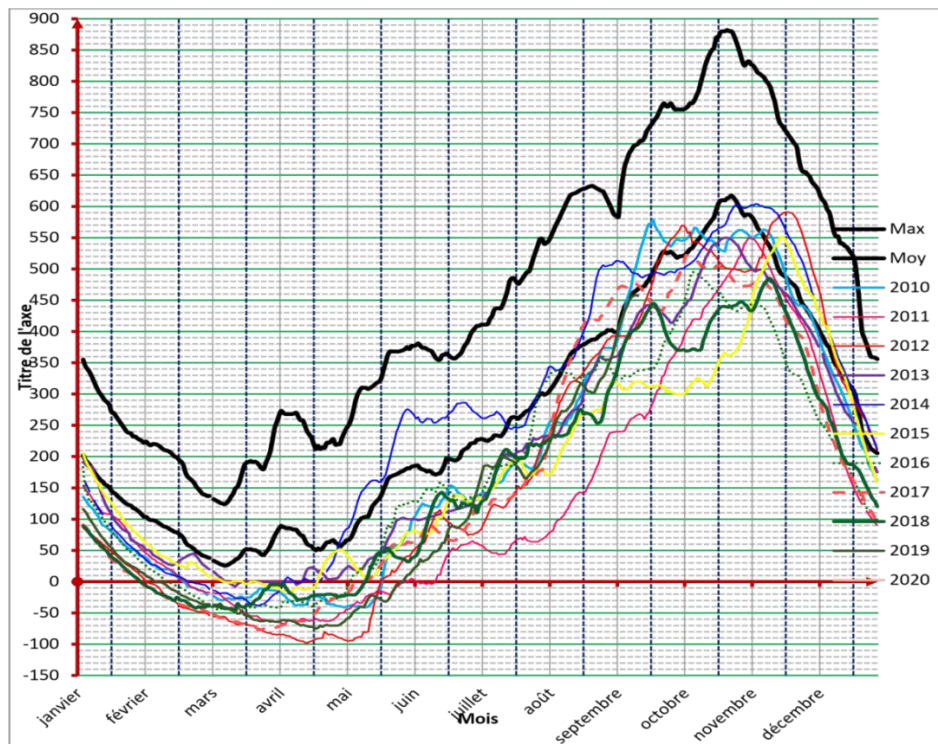


Figure 5. Courbes limnométriques de Bangui de 2010 à 2019

Source : SCEVN (Bangui)

La figure ci haut, illustre l'ampleur de la dégradation du régime de l'Oubangui. Aussi, à l'échelle mensuelle, l'étiage est observé en mars, les crues maximales sont atteintes en octobre. Ainsi, clairement démontré dans le diagramme limnométrique (Cf. : la Figure ci haut), l'étiage est déjà déclenché au mois de Novembre et atteint les extrêmes au mois de Mars. L'analyse des données statistiques de tous les paramètres du cycle de l'eau, nous montre que l'année aride (1971-2007) est trop longue mais aussi, responsable de diminution de la pluviométrie qui était de 3% en 1970 en fin d'année humide. Et ne cesse de croître dans le temps en entraînant une baisse considérable de débit liquide de la rivière Oubangui.

La pluviométrie ne monte pas d'autres cassures depuis. La série hydrologique permet d'identifier une période moyenne aride de 1971 à 1982 et une période très déficitaire de 1983 jusqu'à nos jours.

3.3.3 Suivi de la sédimentation et de dépôts modernes sur la rivière Oubangui

À partir de la seconde moitié du 20ème siècle, l'obstacle majeur à la navigabilité sur l'Oubangui devient « l'ensablement ». Ce phénomène concerne aussi certains tronçons du fleuve Congo (y compris le port de Brazzaville). Selon Censier (1995), l'ensablement est l'une des caractéristiques sédimentologiques principales du chenal de l'Oubangui. Il obstrue l'écoulement en limitant les possibilités de navigation durant la période des décrues, mais structurent également la morphologie fluviale de l'Oubangui.

Yayer (1951), a de ce fait montré que, « c'est lors des décrues que les bancs de sable affleurent en surface sous forme de « chapelets de bancs de sable » dérivant doucement vers l'aval en se déformant, s'effilochant, se divisant

et se soudant comme font les nuages dans le ciel. Leur vitesse moyenne de progression est variable suivant les lieux ; elle est généralement de 100 à 200 mètres par an ». Il convient de remarquer aussi que, l'une des raisons pouvant expliquer l'ensablement de l'Oubangui est l'anthropisation de son bassin. La déforestation semble vraiment contribuer à injecter des sédiments dans la rivière. L'ensablement, a aussi eu des effets sur la navigabilité sur l'axe fluvial Oubangui-Congo, qui est un axe historique de transport de gros tonnage entre les villes de Bangui (Centrafrique) et de Brazzaville (Congo-Brazzaville). Cet axe représente également la principale artère du « désenclavement » de la République Centrafricaine via le port de Brazzaville en République du Congo. D'après les études réalisées par NZANGO (2018), l'ensablement est très prononcé en 1982 avec un taux de sédimentation avoisinant les 30%, alors que ce taux n'est que de 27% en 2011, 22% en 1946 et 21% en 1960. La végétalisation du lit s'opère par la colonisation des bancs alluviaux non remaniés par des espèces herbacées (ex : *Imperata cylindrica*, *Hyparrhenia*, *Pennisetum purpureum*), puis arbustives (ex : acajous, acacia, manguier), et enfin ligneuses. L'ensablement et la végétalisation de certains tronçons de l'Oubangui ont pour effet de rétrécir la largeur du chenal et de réduire la profondeur du lit ainsi que des passes navigables.

Figure 5. Suivi des sédiments sur le Tronçon de Bangui_Impfondo et de IMPFONDO jusqu'à la confluence

Réalisé par l'auteur

Dans les registres à côté, nous avons montré que le principal obstacle à la navigation sur la rivière Oubangui est l'ensablement. Ainsi, la lecture des images satellitaires que nous avons prise à partir de Google Earth nous laisse comprendre que le long du Tronçon Bangui_Impfondo, il y a la présence des bancs de sable. Presque tout le linéaire du Tronçon est entaché des bancs de sable et qui empêcherait les bateaux à naviguer à des basses eaux.

3.4 Impact socio-économique

La RDC, R. du Congo et la RCA sont des pays frontaliers membre de la CICOS et sont habitués aux échanges commerciaux notamment la RCA qui se ravitaille du pétrole et quelques produits manufacturés au niveau de Brazzaville et de la RDC par le canal de la rivière Oubangui, or lorsqu'il y'a l'innavigabilité, cela engendrait des impacts graves sur le plan économique mais aussi sur le plan social. En outre, lorsque la navigation s'arrête, la RCA se tourne souvent vers le Cameroun en utilisant la voie routière pour le ravitaillement en produit pétroliers et quelques produits de première nécessité. Du coup cela devient un manque à gagner pour l'Etat congolais d'une part et d'autre part, cela va mettre les personnels de socatraf en chômage technique, les jeunes qui travaillent au niveau du port de socatraf à Bangui seront aussi en chômage durant cette période de trêve.

Signalons que les habitants de la ville de Bangui payent aussi les frais de ces irrégularités à travers la hausse des produits manufacturés et du carburant qui sont importés depuis le port de Brazzaville en République du Congo. En attendant, le ravitaillement du Centrafrique se fait de manière intermittente par la voie fluviale, et depuis quelques années par la voie routière depuis Douala au Cameroun. Ce nouveau corridor routier s'avère plus rapide que le corridor fluvial en termes de durée de livraison. Un camion-remorque met en moyenne 3 jours pour atteindre Bangui depuis le port de Douala, contrairement à un bateau qui met en moyenne 10 jours pour accoster à Bangui depuis le port de Brazzaville. Malgré son délai de livraison express, le transport routier reste le mode de transport le moins efficace en termes d'échanges de gros tonnage comparativement au transport fluvial.

3.5. Impacts environnementaux

En abordant cette rubrique, il est important de rappeler que dans le bassin de l'Oubangui, plusieurs activités se font à savoir : l'agriculture, la pêche et l'élevage, et l'exploitation forestière et minière etc. Ainsi toutes ces activités entraînent des conséquences d'ordre environnement.

3.5.1. Agriculture

D'une manière générale, l'agriculture pratiquée dans le Bassin Oubangui est dominée par des systèmes de production traditionnels, dont les problèmes d'impact sur la forêt sont connus (agriculture itinérante sur brûlis) et génère des effets négatifs sur les eaux et des sols. Elle est également responsable de pollution, régression et dégradation des sols. L'agriculture est une source importante d'émissions de gaz à effet de serre. Elle dégage de grandes quantités de gaz carbonique lors de la combustion de la biomasse, surtout dans les zones de déboisement et de feux de prairies. L'agriculture est également responsable de presque la moitié des émissions de méthane. Bien que le méthane reste moins longtemps dans l'atmosphère que le gaz carbonique, sa puissance d'échauffement est environ 20 fois plus forte, et il représente donc un important facteur à court terme du réchauffement de la planète.

3.5.2. Exploitation forestière

Les principaux problèmes environnementaux liés à la déforestation et qui concernent la qualité de l'eau sont les suivants :

- ✓ Érosion des berges des cours d'eau ;
- ✓ Augmentation de la sédimentation dans les plans d'eau ;
- ✓ Augmentation du transport solide.

3.5.3. Pêche

La pêche traditionnelle telle que pratiquée dans le bassin de l'Oubangui n'occasionne pas de problèmes environnementaux majeurs. Les seuls problèmes identifiés en relation avec ce type de pêche sont liés à l'utilisation dans certains sites des produits chimiques pour la capture des poissons.

3.5.4. Exploitation minière

L'exploitation minière est soit de type artisanal (diamant en RCA, or au Congo et en RCA par exemple), soit de manière industrielle (cuivre et cobalt en RDC, diamant en RDC, etc.). L'exploitation industrielle des minerais peut

s'accompagner du raffinage et de la transformation dans les fonderies. L'exploitation minière engendre plusieurs problèmes environnementaux parmi lesquels on peut citer :

- ✓ Mobilisation de particules minérales affectant les travailleurs, l'eau et l'air ;
- ✓ Rejet sans traitements particuliers des effluents du lavage des minerais ;
- ✓ Érosion des lits des rivières pour l'extraction des minerais ;
- ✓ Augmentation du transport solide du fait des activités extractives dans les lits des rivières ;
- ✓ Déversement des métaux lourds dans les rivières ;
- ✓ Perturbation du milieu par l'exploitation des fonds de vallées et des marais ;
- ✓ Destruction de l'environnement des marais notamment par l'augmentation des débits et la modification des niveaux d'eau.

Il convient de signaler que les problèmes environnementaux liés aux activités extractives industrielles sont de plus grande ampleur, comparés à ceux engendrés par l'exploitation artisanale.

3.6. Quelques travaux d'aménagement à réaliser

Nous venons d'étaler dans les pages ci hauts quelques impacts qui empêchent la navigation sur la rivière Oubangui.

Eu égard à cela, voici quelques travaux qui doivent être fait sur la rivière Oubangui :

3.6.1. Le balisage

Le balisage sur l'Oubangui nécessite plus des signaux de rives accompagnés des bouées. Les seuils rocheux tels que Zinga, Izato et Boyélé doivent être isolés par des bouées qui limitent la route de navigation. Pour faciliter la navigation de nuit, la réhabilitation des régnitifs et des balises tombées en ruine est recommandée.

Dans le bief ou la largeur moyenne de l'Oubangui atteint 6 km apparaissent des bancs de sable qui devront être bien identifiés. Dans cette zone, pour tracer la route de navigation, nous recommandons le mouillage des bouées et le placement des signaux de rive. Le balisage est donc l'arme la plus efficace pour améliorer les conditions de la navigation sur la rivière Oubangui.

3.6.2. Le dragage

L'Oubangui a des sections avec des fonds sablonneux. Pour augmenter sa capacité à recevoir des unités flottant et prolonger la durée de la navigation, le dragage est nécessaire durant les basses eaux, mais à des endroits qui présentent réellement un bouchon. Au préalable, une étude en potamologie est recommandée en vue de déterminer le bras de la rivière qui offre plus d'avantages et qui pourrait développer par la suite, après les travaux de dragage, les meilleurs atouts d'auto dragage.

Généralement lorsque l'étiage est amorcé, certains points tels : PK 572, PK 566, PK 558, PK 526, PK 497, PK 493, PK 458, PK 455, PK 432, PK 419, PK 408, PK 408, PK 319, PK 313, PK 224, PK 217, PK 196, PK 187 et PK 58 ; présentent des bancs de sable et par moment arrête la navigation avant la date préconisée pour la fermeture de la navigation.

3.6.3. Le dérochage

Pour augmenter la sécurité de la navigation dans les passes rocheuses de l'Oubangui, en moyenne 10 à 20 cm de ce macaron rocheux au seuil de Zinga (au PK 500, PK 520, PK 525, PK 525, PK 526) doit être enlevé pour offrir un mouillage de 1,05 à 1,015 au zéro de l'échelle de Zinga pour un tirant d'eau de plus ou moins 0,75 à 0,85m. Certains points rocheux bien densifiés (PK 546, PK 555, PK 573, PK 575, PK 585.5) qui limitent le plus souvent le tirant d'eau des convois entre le mois de janvier à juin, seront dérochés à l'ordre de 10 à 20 cm. Il faut un levé topographique au préalable de ces différents points pour déterminer les coordonnées de chaque point.

Par ailleurs, si les fleuves ou les rivières sont conservés, bien protégés et développés, il y aura un impact positif sur tous les usagers car la prévention ou l'inversion des problèmes tels que la dégradation des bassins versant d'amont et l'épuisement des eaux souterraines exposant les usagers en aval à des risques d'inondations ou de pénurie d'eau ont été maîtrisés mais lorsque le fleuve où une rivière n'est bien protégée où conservée, où encore bien entretenue il en déroulera des conséquences telles que : les inondations etc.

3.7. Indicateurs hydrologiques et implications pastorales

L'analyse des séries hydrologiques met en évidence une évolution importante du régime de l'Oubangui au cours des différentes périodes étudiées. Les débits moyens interannuels constituent à cet égard un indicateur particulièrement pertinent de l'évolution de la disponibilité des ressources en eau. Les valeurs disponibles montrent une diminution progressive du débit moyen, avec une baisse de 7 142,39 m³/s durant la période 1958-1968 à 4 086,47 m³/s durant la période 1980-1990. Pour la période plus récente, le débit moyen interannuel atteint 2 434,68 m³/s entre 2013 et 2018. Cette évolution traduit une diminution importante des volumes d'eau disponibles dans le bassin et confirme la modification progressive du régime hydrologique de l'Oubangui.

À l'échelle saisonnière, les débits présentent également des différences importantes entre les périodes hydrologiques. Les données mensuelles montrent que les débits de la période 1936-1970 sont systématiquement supérieurs à ceux de la période 1971-2007. La différence est particulièrement importante durant les mois de juillet à novembre, période correspondant à la montée des eaux et aux hautes eaux. Le mois d'octobre présente notamment des débits moyens de 9 588 m³/s pour la période 1936-1970 contre 7 228 m³/s pour la période 1971-2007.

Le nombre de jours d'arrêt de la navigation constitue également un indicateur synthétique des conséquences de cette variabilité hydrologique. Pour la période 2000-2009, le nombre total de jours d'arrêt atteint 1 046 jours, soit une moyenne d'environ 105 jours par an. Le nombre maximal atteint 129 jours, tandis que le minimum enregistré est de 74 jours en 2008. Ces valeurs montrent que les fluctuations hydrologiques se traduisent concrètement par une réduction de la période pendant laquelle les conditions de navigation sont favorables.

Au niveau du seuil de Zinga, les observations relatives à la hauteur d'eau et au mouillage permettent également de préciser les conditions hydrologiques associées à l'ouverture et à la fermeture de la navigation. Le mouillage observé au seuil varie généralement autour de 1,00 à 1,08 m selon les périodes considérées, tandis que les dates d'ouverture et de fermeture présentent une variabilité interannuelle. Ces indicateurs confirment l'existence d'une relation entre les fluctuations du niveau d'eau, les conditions d'écoulement et l'accessibilité des passes navigables.

Sur le plan pastoral, la diminution saisonnière de la disponibilité en eau constitue un facteur susceptible d'affecter l'accès des troupeaux aux points d'abreuvement et aux espaces de pâturage. En période de déficit hydrologique, les éleveurs peuvent être amenés à modifier leurs itinéraires en fonction de la disponibilité des ressources en eau et des pâturages. Ainsi, la variabilité hydrologique ne constitue pas uniquement une contrainte pour la navigation ; elle représente également un facteur environnemental susceptible d'influencer la mobilité pastorale et les stratégies d'adaptation des communautés d'éleveurs. Cette relation doit toutefois être interprétée en tenant compte des autres facteurs environnementaux et socio-économiques intervenant dans l'organisation de la transhumance.

4 Conclusion

La réflexion menée autour de l'apport du SIG dans le suivi des sédiments de la rivière Oubangui en vue de l'amélioration de la navigabilité a suivi le cheminement établi au préalable. En abordant les différents aspects du bassin versant de l'Oubangui, notre mérite est d'avoir exposé l'essentiel d'information relative à notre thème de recherche. L'application de quelques méthodes et techniques particulièrement la méthode d'observation indirecte qui est partie de la télédétection, nous a permis d'aboutir aux résultats selon lesquels Oubangui n'est pas navigable toute l'année car à chaque période d'étiage, il y'a la présence des bancs de sable le long du tronçon Bangui_Impfondo et du tronçon Impfondo jusqu'à la confluence à Mbandaka. Cette situation est sans doute consécutive à la variabilité dans le sens négatif des paramètres climatologiques d'une part et d'autre part lié à la présence énorme des bancs de sable qui est due au manque d'entretien quotidien sur cette rivière par les services compétents, fautes des moyens conséquents tel que démontré dans le travail. Il apparaît clairement que la pluviométrie annuelle toujours déficitaire par rapport à la moyenne annuelle, la température s'accroît dans les proportions anormales, l'évaporation qui est dissipée par la présence de l'air sec en circulation due aux températures élevée. Conséquence, diminution du débit liquide sur Oubangui avec comme corollaire réduction du temps de navigation sur cette dernière et entraîne des impacts socio-économique et environnementaux.

REFERENCES

- [1] Anne-Julia Rolle (2007), Étude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain, Université Jean Moulin - Lyon III
- [2] ANONYME., 1969, Techniques rurales en Afrique : Conservation des sols au Sud du Sahara, p. 2, 5. Secrétariat aux affaires Étrangères (France) 211 p.
- [3] BANTON, O. et BANGOY, L.M. (1997) Hydrogéologie : Multi science environnementale des eaux souterraines. AUPELF et Presses de l'Université du Québec ;
- [4] BENKRID E., (2008), Étude de l'évolution spatio-temporelle dans la plaine du Bas Chérif (Algérie), Mémoire de Master, UMR HSM, Montpellier (France), 54p.
- [5] CAILLE V.X., 1983. Hydrologie et érosion dans la région de Kinshasa, OHDIN, Kinshasa.
- [6] CALLEDE, Y. BOULVERT et J-P. THIEBAUX, (1971), le bassin de L'Oubangui ;
- [7] CHANEL NZANGO (2018), les barrages de l'Oubangui : de l'impact hydraulique actuel à la prospective environnementale, l'université d'Orléans ;
- [8] CICOS, (2016), Atlas du fleuve du Congo, Kinshasa, 120p.
- [9] Cyriaque Rufin Nguimalet (2017) : Changements enregistrés sur les extrêmes hydrologiques de l'Oubangui à Bangui (République centrafricaine) : analyse des tendances, publié dans les Revue des sciences de l'eau (Journal of Water Science) ;
- [10] CYRIAQUE-RUFIN NGUIMALET et DIDIER ORANGE, (2015), Caractérisation de la baisse hydrologique de la rivière Oubangui à Bangui, République Centrafricaine ;
- [11] DUCHIRON. B., Variabilité interannuelle de la pluviométrie dans l'espace riverain de l'océan indien, éditions PPUR, Paris, 2002 ;
- [12] EL HADRAOUI Y, (2013), Étude diachronique de l'occupation du sol et de modélisation des processus érosifs du bassin versant du Bouregreg (Maroc) à partir des données de l'observation de la terre, Mémoire de diplôme d'ingénieur, Conservatoire National des Arts et Métiers, Rabat (Maroc), 82p.
- [13] FEIZOURÉ C., C. CENSIER C., LANG J. et OLIVRY J.C. (1993): Évolution interannuelle de la dynamique sédimentaire d'une barre sableuse d'un fleuve de Régime tropical humide: le site de Pama sur l'Oubangui (République Centrafricaine). In : Grands Bassins Fluviaux Péri Atlantique : Congo, Niger, Amazon. Paris : Orstom : 171-180 (Collection Colloques & Séminaires);
- [14] GANTER. D., Recueil de la législation en vigueur, éditions Harvard University, USA, 2008.
- [15] HINGRAY. B., PICOUE. C. et MUSY. A., Hydrologie, éditions presses polytechniques, Paris, 2009 ;
- [16] KAKULE KASEREKA R., (2016), Mise à jour de la carte administrative et étude des effondrements dans la ville de Mbuji-Mayi, Mémoire de DEA, Géomorphologie, Université de Kinshasa, Kinshasa, 126p.
- [17] KANOHI FULVIE EPSE O. et AL, (2012), Apport de la télédétection et des SIG dans l'identification des ressources souterraines dans la région Daoukro (Centre-Est de la côte d'Ivoire), Revue de géographie du laboratoire Leïdi, Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), 45p
- [18] KOFFI DJAGNIKPOK K et AL, 2016, Dynamique spatio-temporelle de l'occupation/utilisation des terres dans le Sud-Est Togo : Essai de cartographie à l'aide de la télédétection spatiale, Revue de Géographie de Lomé, Lomé (Togo), 219p.
- [19] LARAQUE A., D. ORANGE, B. MAZIEZOULA et J.-C. OLIVRY (1998). Origine des variations des débits du Congo à Brazzaville durant le XXe siècle. Dans: Water Resources Variability in Africa during the XXth Century (Proceedings of the Abidjan 1998 Conférence). SERVAT E., D. HUGHES, J.-M. FRITSCH et M. HULME, (Éditeurs), IAHS Publication, No 252, pp. 171-179 ;
- [20] LAUBET. D. et JEAN. L., Initiation aux méthodes de recherche en Sciences Sociales, Éditions le Harmattan, Paris, 2000 ;
- [21] MACE. G. et PETER. F., Guide d'élaboration du projet de recherche en science sociale, édition de Boeck, Bruxelles, 2011 ;

- [22] MOPUKU NDOMBOLI H., (2017), Évolution spatio-temporelle des ravins Mataba au quartier Djelo-Binza dans la commune de Ngaliema à partir des images satellitaires, Mémoire de Licence, UPN, Kinshasa, 58p.
- [23] MUKENDI KATAMBA A. (2009), Contribution à l'analyse spatio-temporelle de l'occupation et de la perte des sols au niveau du bassin versant de la Funa (Kinshasa/RDC), Mémoire de Licence, Université de Kinshasa, Kinshasa, 92p.
- [24] NGUIMALET C.-R. et D. ORANGE (2015). Caractérisation de la baisse hydrologique de l'Oubangui à Bangui, République Centrafricaine. Colloque international Hydrologie des grands bassins fluviaux de l'Afrique, 26-30octobre, Hammamet, Tunisie, 8 p ;
- [25] NGUIMALET C.-R. et S. NDJENDOLE (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). Z. Geomorphol., 52 (1), 125-141.
- [26] NORRANT. C., Tendances pluviométriques indicatrices d'un changement climatique dans le bassin méditerranéen, éditions PPUR, Paris, 2004 ;
- [27] ORANGE D. (1996). Transports de matières dans un bassin fluvial tropical Humide en zone de forêt : l'UELE au Zaïre, Strasbourg : Sciences Géologiques Bulletin, 49, 1,4 : 71-88 ;
- [28] ORANGE D., CENSIER C et OLIVRY J.C. (1993) : Variations et Bilan des flux de matières particulières et dissoutes de l'Oubangui à Bangui (de 1987 à 1992). In : Grands Bassins Fluviaux,
- [29] ORANGE D., FEIZOURÉ C. et WESSELINK A (1995) : Variabilité hydrologique de l'Oubangui à Bangui, In: Actes des Journées Scientifiques;
- [30] PINTO R. & GRAWITZ M., 1971, les méthodes en sciences sociales, éd. Dalloz, Paris, p.61.
- [31] POUCHIN. T, DEBRIE. J, BOURCIER. A, 2002, L'observation de la végétation de l'Afrique de l'Ouest par télédétection Spatiale : l'apport de végétation normalisé. Sécheresse, volume 13, numéro 3, 187-195 ;
- [32] Rodrigue (2019), L'analyse des paramètres hydrologiques du bassin versant de l'Oubangui, CRFNI ;
- [33] ROUSSILHE. H., Mission hydrographique, édition Larousse, Paris, 1913
- [34] RUZINDANA JOSEPH I. (2013), Dynamique spatiale de la température et du couvert végétal dans la ville de Kinshasa, Mémoire de Licence, UPN, Kinshasa, 62p.
- [35] TUSSEAU. A., Étude des fortes pluies et leurs conséquences dans un milieu fortement urbanisé, éditions PPUR, Paris, 2003.
- [36] WESSELINK A., D. ORANGE et FEIZOURÉ C. (1995) : Les régimes Hydroclimatiques et hydrologique d'un bassin versant de type tropical humide : l'Oubangui (République Centrafricaine), In : L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement. Wallingford : IAHS : 25-40, fig. (IAHS Publ. ; n°238),
- [37] WESSELINK A., D. ORANGE, C. FEIZOURE et C.T. FEIZOURE RANDRIAMIARISOA (1996). Les régimes Hydroclimatiques et hydrologiques d'un bassin versant de type tropical humide : l'Oubangui (République Centrafricaine). Dans : L'Hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement. CHEVALLIER P. et B. POUYAUD (Éditeurs), IAHS Publication, No 238, Paris, France, pp. 179-194.
- [38] WILMET J., 1998, Art « Télédétection » in BAILLY A. et Al : « les concepts de la géographie humaine », éd. Armand Collin, Paris.