



**BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE KALAMU A BOMA : UN  
ECOSYSTEME MENACE EN QUETE D'UN CONTRAT DE RIVIERE  
POUR UNE GESTION PARTICIPATIVE DES RESSOURCES EN EAU<sup>i</sup>**

**Vuni Simbu Alexis<sup>1</sup>,  
Mubanga Nzo Ayum Ntub Godefroid<sup>2</sup>,  
Masiala Bode Mabu<sup>3</sup>,  
Belani Masamba Justin<sup>4</sup>,  
Kisangala Muke Modeste<sup>5</sup>,  
Lelo Nzuzi Francis<sup>6</sup>,  
Nzau Umba di Mbudi Clement<sup>7ii</sup>**

<sup>1</sup>Msc, Doctorant,  
Faculté des Sciences et Technologies,  
Université de Kinshasa,  
République Démocratique du Congo

<sup>2</sup>Msc, Doctorant,  
Faculté des Sciences et Technologies,  
Université de Kinshasa,  
République Démocratique du Congo

<sup>3</sup>Professeur associé,  
Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement,  
Université de Kinshasa,  
République Démocratique du Congo

<sup>4</sup>Professeur associé,  
Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement,  
Université de Kinshasa,  
République Démocratique du Congo

<sup>5</sup>Professeur full,  
Faculté des Sciences et Technologies,  
Université de Kinshasa,  
République Démocratique du Congo

<sup>6</sup>Professeur ordinaire,  
Faculté des Sciences et Technologies,  
Université de Kinshasa,  
République Démocratique du Congo

<sup>7</sup>Professeur full,  
Faculté des Sciences et Technologies,  
Université de Kinshasa,  
République Démocratique du Congo

<sup>i</sup> THE KALAMU RIVER CATCHMENT AREA IN BOMA: A THREATENED ECOSYSTEM IN SEARCH OF A RIVER CONTRACT FOR PARTICIPATORY WATER RESOURCE MANAGEMENT

<sup>ii</sup> Correspondence: email [lelonzuzi@yahoo.fr](mailto:lelonzuzi@yahoo.fr), [vunitresor@gmail.com](mailto:vunitresor@gmail.com), [godefroidmubanga@gmail.com](mailto:godefroidmubanga@gmail.com), [fmabu.bode@mail.com](mailto:fmabu.bode@mail.com)

### **Résumé :**

La rivière Kalamu se trouve dans le rift tectonique de Boma, au sein de la province du Kongo Central, en République Démocratique du Congo (RDC). Dans le bassin versant de la rivière Kalamu, la poussée démographique s'est accompagnée d'une utilisation abusive des ressources hydriques, pédologiques et végétales. La déforestation du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma est principalement due aux constructions anarchiques, à l'agriculture itinérante sur abattu brûlis, à la production de bois, à la cuisson des briques adobes, aux coupes et aux feux de brousse. La détérioration du système de drainage, l'urbanisation anarchique, la croissance démographique galopante, sont des facteurs importants à l'origine des inondations récurrentes. La dégradation du réseau de drainage urbain est due au fait que celui-ci est obstrué par des déchets de tous genres (bouteilles en plastique, verres, canettes, déchets hospitaliers, sachets et papiers, textiles, des résidus organiques et végétaux). Le manque de curage du lit de la rivière et d'entretien des caniveaux engendre de nombreux problèmes tels que la perte de la mouille, l'ensablement et des inondations récurrentes. Les résultats d'analyses physicochimiques et bactériologiques révèlent effectivement la piètre qualité de ces eaux. Cette étude cherche à soutenir l'initiative débutée en 2007 lors du premier colloque international sur les problématiques de l'eau en RDC, visant à établir le principe de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) pour une gestion durable des écosystèmes aquatiques.

**Mots-clés :** diagnostic, contrat de rivière, Kalamu, bassin versant, écosystème aquatique, Ville de Boma

### **Abstract:**

The Kalamu River is located in the Boma tectonic rift, in the province of Central Kongo, in the Democratic Republic of Congo (DRC). In the Kalamu catchment area, population growth has been accompanied by excessive use of water, soil and plant resources. Deforestation in the Boma catchment area of the Kalamu River is mainly due to uncontrolled building, slash-and-burn agriculture, wood production, adobe brick burning, logging and bush fires. Deterioration of the drainage system, uncontrolled urbanisation and galloping population growth are major factors behind recurrent flooding. The deterioration of the urban drainage system is due to the fact that it is clogged with all kinds of waste (plastic bottles, glass, cans, hospital waste, bags and paper, textiles, organic waste and plants). The lack of cleaning of the riverbed and maintenance of the gutters has led to a number of problems, including loss of wetness, silting up and recurrent flooding. The results of physicochemical and bacteriological analyses reveal the poor quality of these waters. This study seeks to support the initiative launched in 2007 at the first international symposium on water issues in the DRC, aimed at establishing the principle of integrated management of water resources.

**Keywords:** diagnosis, river contract, Kalamu, catchment area, aquatic ecosystem, City of Boma

## 1. Introduction

L'eau joue un rôle central dans de nombreuses actions humaines, en particulier économique: l'eau est synonyme de vie. En effet, l'eau est indispensable pour la survie de l'homme, des animaux et des plantes (GWP, 2006). L'eau est non seulement essentielle pour répondre aux besoins quotidiens, mais elle est également un élément crucial pour de nombreuses opérations industrielles, la production d'électricité par fusion nucléaire ou comme source froide économique en tant que composant chimique, moyen de refroidissement, de transport (Brun, 2006; 2010). L'eau de bonne qualité est indispensable pour les activités touristiques et de loisir (GWP, 2000). Néanmoins, ces dernières années, de profondes transformations ont touché les modes de consommation et d'usage de cette ressource. Le développement urbain, industriel, agricole, énergétique, couplé à l'évolution démographique, ont fortement contribué à l'augmentation des prélèvements et à la dégradation de la qualité de l'eau et des écosystèmes, conduisant ainsi à l'émergence de conflits d'usage (Rosillon, 2012, 2015). Les nécessités du développement social et économique imposent de recourir à l'aménagement de l'eau pour satisfaire les besoins des populations qui sont en continuelle croissance, ce qui rend le processus de gestion de l'eau fort complexe et de mise en œuvre difficile. La gestion de l'eau est devenue alors un sujet beaucoup plus complexe. En raison de la multiplication des acteurs, de la diversité des usages et de leur interdépendance à travers le cycle hydrologique, des interactions se sont révélées sur plusieurs échelles: échelles du territoire local, du système irrigué, de la nappe, du bassin, du pays, voire même l'échelle supra-nationale (Molle et al., 2007).

Ces interactions tant hydrologiques que socioéconomiques ont engendré des compétitions et des conflits, faisant de la gestion de l'eau « un cadre où se manifestent des rivalités entre acteurs pour le contrôle de l'eau et l'usage du territoire » et où se confrontent des intérêts, des valeurs, et des processus différents de la nature, environnementale, techniques, politique, culturelle, et/ou identitaire, (Romagny et Cudennec, 2006; Ghiotti, 2006). Le problème de gestion de la rivière Kalamu dans sa partie urbaine se pose donc avec acuité, mettant en danger la santé humaine et l'environnement. Pour faire face à cette situation, il est indispensable de disposer d'instruments juridiques efficaces en vue d'organiser la répartition et le contrôle de l'utilisation des ressources en eau et d'en assurer également la protection et la conservation.

La nouvelle approche de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) à travers le contrat de rivière peut être une solution au problème de la rivière Kalamu. Cette approche a déjà montré son efficacité en Afrique notamment dans le bassin versant de la rivière Lukaya en RDC et dans la rivière Sourou au Burkina Faso (Rosillon et Vander

Borghet, 2005). Le modèle Wallon de GIRE fait partie des modèles adaptables pour le contexte africain. Il a été exporté avec succès au Burkina Faso pour sauver la rivière Sourou alors en détresse hydrique. Le contrat de rivière est un instrument technique de GIRE et est considérée comme un nouveau paradigme pour les opérateurs de l'eau dans le bassin et sous bassin versant (Rosillon, 2007). Grâce au contrat de rivière que les partenaires publics et privés rassemblés au sein d'une structure des usagers de la rivière définissent par consensus et sur base volontaire un programme d'actions en vue de restaurer les multiples fonctions et usages de l'eau à l'échelle d'un bassin versant (Rosillon, 2007). En 2007, lors du premier colloque international sur l'eau organisé dans la ville de Kinshasa, que le contrat de rivière a été exposé pour la première fois par l'équipe du docteur Rosillon de l'université de Liège (Belgique). Au cours de ce colloque, il a été question d'instaurer un système de GIRE en RDC (Celine, 2010). C'est ainsi sont née l'idée d'exporter le modèle Wallon des contrats de rivière et de l'appliquer dans le bassin versant de la Lukaya. Le contrat de rivière Kalamu à Boma vise à atteindre des objectifs destinés à résoudre les multiples problèmes et défis qui touchent le bassin versant et la rivière elle-même. Plus précisément, il s'agit d'impliquer la communauté dans les décisions et l'application du contrat de rivière.

## 2. Revue de la littérature

Selon le Partenariat mondial pour l'eau (2000, 2005, 2009; Inforessources, 2003 ; Gangbazo 2004, Wellens, 2018), la GIRE est une initiative visant à favoriser le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources associées afin de maximiser le bien-être économique et social tout en préservant la durabilité des écosystèmes vitaux. Jonker (2002), abonde dans le même sens, la GIRE désigne la façon dont les personnes gèrent leurs activités de manière à favoriser le développement durable en améliorant leur niveau de vie sans perturber le cycle de l'eau.

Rosillon, (2015) a aussi abordé la question de GIRE dans le système naturel qui joue un rôle essentiel dans la disponibilité quantitative et qualitative de l'eau, et le système humain qui influence l'utilisation et la pollution de la ressource. La méthode intégrée doit trouver un équilibre entre les deux catégories et leurs liens entre elles. D'après Trottier (2012), le concept GIRE est maintenant largement accepté, voir dominant parmi les chercheurs, les techniciens et les responsables de l'eau. Pour Lustick, (1993), le concept GIRE a pu émerger en tant que concept holistique grâce à la création d'un ordre naturel et d'un ordre social, économique et environnement. Selon les recherches menées par Bado Sama et al., (2005), les auteurs soulignent l'importance d'adopter l'approche GIRE qui englobe les politiques, sociales, économiques et environnementales. Ils ont discuté des liens entre la croissance démographique, la détérioration de l'environnement et les disparités d'accès à l'eau. Ils ont mis en évidence l'importance de créer un cadre de concertation des acteurs de l'eau pour éviter les conflits internes et externes. D'après Rosillon (2014), dans un contexte d'inégalité entre les différents groupes sociaux, la GIRE

prône la participation des communautés locales et mets l'accent sur la prise en compte des femmes dans la gestion de l'eau. Elle rejoint la réflexion de Malavoi et al. (2007) qui considère que plus qu'un problème technique, la gestion écologique des cours d'eau est un problème socio-économique qui passe par l'acceptation des fonctions naturelles du cours d'eau. RIOB, 1998) Mostert et al. (1999) abordent en détail la question. «La participation active des usagers est le meilleur moyen de régler des conflits d'usage: la concertation est le début de la sagesse.» Le contrat de rivière est un outil de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE), cette approche GIRE étant considérée par (Hooper, 2005; Bado et al., 1999) comme un nouveau paradigme pour les opérateurs de l'eau. Un contrat de rivière est une procédure volontaire qui permet aux utilisateurs de la ressource en eau au sein d'un même bassin versant de prendre en main la gestion et l'entretien des cours d'eau concernés dans un objectif de préservation de la ressource et de cohabitation des différents usages (Rosillon, 2001, 2006, 2007, Bado Sama et Rosillon, 2007, 2009). Il s'agit d'un engagement « moral », technique et financier entre acteurs locaux sur un programme d'actions concertées pour la réhabilitation et la valorisation des milieux aquatiques. Ce contrat est à l'initiative d'une ou plusieurs structures intercommunales représentatives de l'ensemble du bassin versant de la rivière et a une durée, en général, de cinq ans (Celine, 2010; Rosillon, 2014; 2015).

### **3. Matériels et méthodes**

#### **3.1. Milieu d'étude**

La rivière Kalamu, avec une longueur de 63,131 km dont 10 ont fait l'objet de la présente étude prend sa source dans le massif de Malanda Nsimba dans le Groupement Lunga Vassa à 300 m d'altitude et déverse ses eaux dans les basses terres du fleuve Congo, à 181 m d'altitude, dans les environs du port maritime de Boma. Sur son parcours, cette rivière traverse plusieurs villages: Kimbenza'Kiaku, Kikudu, et fait baigner les communes: de Kalamu, Kabondo et Nzadi de la ville de Boma.

Son bassin versant, du reste décrit par plusieurs auteurs (Vuni et al., 2024, 2023, 2022, 2020, Kisangala et al., 2019 ; Mbuangi et al., 2021), s'étend entre 13°00' et 13°11' de latitude Sud et entre 4°59' et 5°52' de longitude Est et couvre une superficie de 68,84 km<sup>2</sup> sur un périmètre de 44,36 km (figure 1).

Le trait dominant du paysage végétal de la région de Boma se compose de la savane boisée anthropique et des galeries forestières. Par ailleurs, cet espace géographique, est ouvert aux vents du Sud-Ouest influencés par le courant marin froid de Benguela. Selon la classification de Köppen, cette zone connaît deux saisons bien contrastées du type tropical humide A<sub>W4</sub>. La saison des pluies dure 8 mois, d'octobre à mai. Les tranches de précipitations varient entre 900 et 1500 mm, assorties d'une légère inflexion des précipitations entre la mi-janvier et la mi-mars. La saison sèche s'étend de la mi-mai à septembre, elle se distingue par une quasi-absence des précipitations. La

température moyenne annuelle est de 25°C. On enregistre une faible insolation de 20 à 60 % entre 7 h et 17 h.

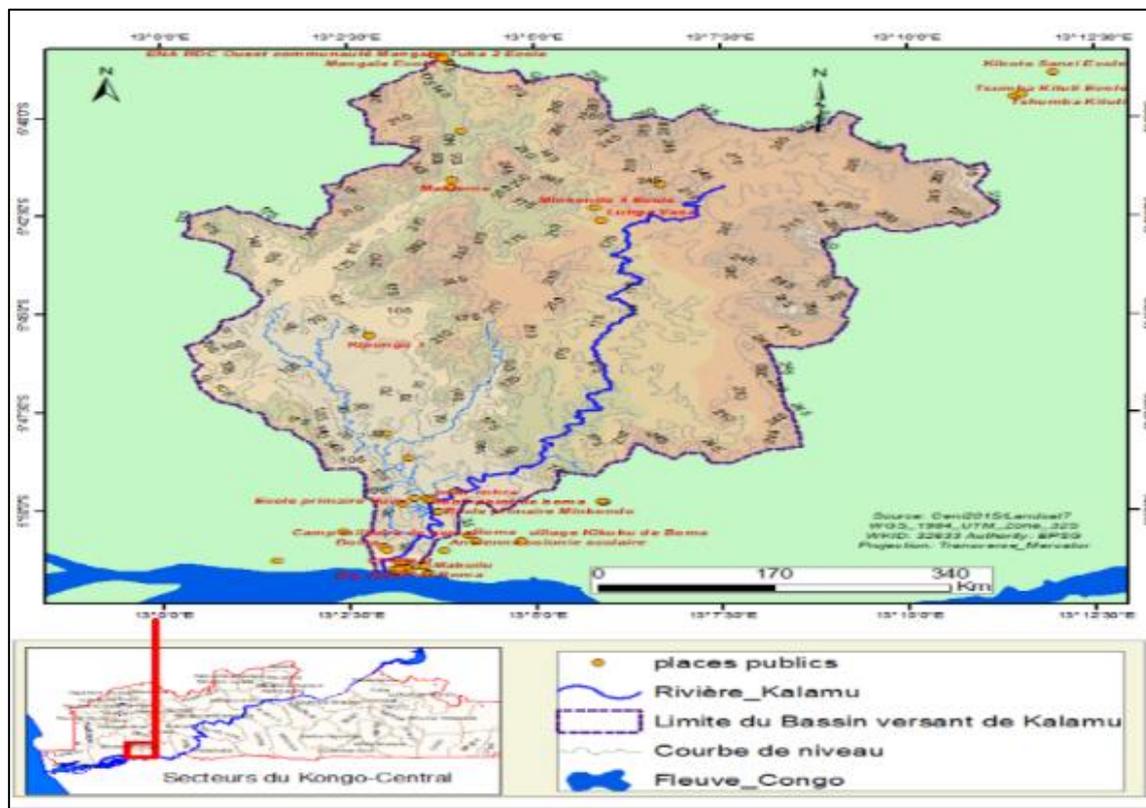


Figure 1: Localisation du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma

### 3.2. Méthodes

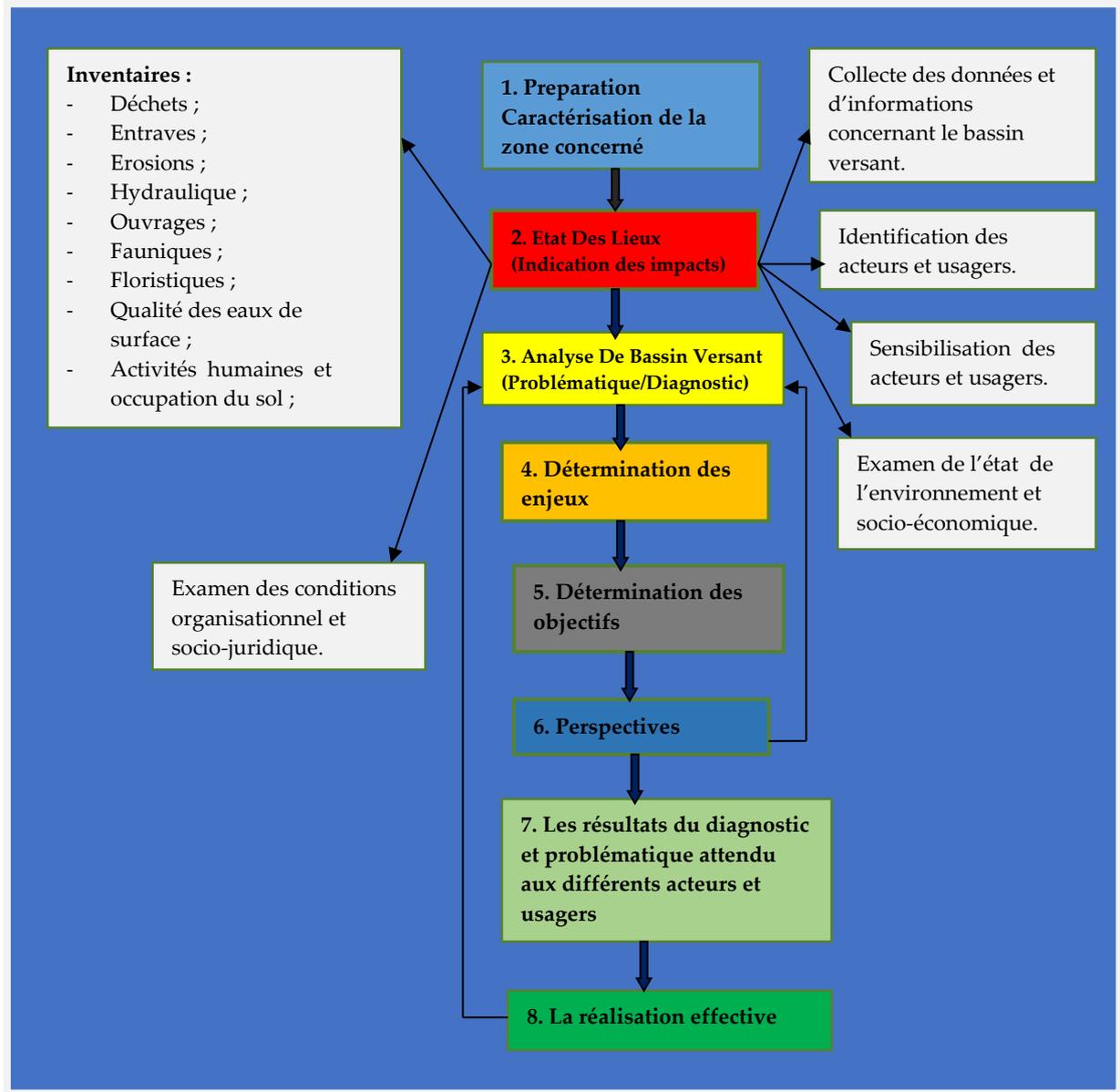
#### 3.2.1. Recherche documentaire

Cette recherche documentaire a permis d'exploiter les travaux antérieurs : (articles scientifiques, les livres, mémoires de master, et des thèses de doctorat).

#### 3.2.2. Approche méthodologique

Pour évaluer la perception sociale du contrat de rivière, une étude a été menée sur le terrain impliquant divers acteurs de l'eau. L'évaluation du cadre juridique relatif au contrat de rivière a été réalisée afin d'établir un état des lieux global, conformément à la seconde phase du processus de gestion intégrée des ressources en eau. Le diagramme de mise en œuvre d'un contrat de rivière est représenté à la figure n°2. Ce travail s'est basé sur deux méthodologies éprouvées pour l'exécution du projet de contrat de la rivière Sourou au Burkina-Faso en 2007, ainsi que celle conçue en Wallonie (Rosillon, 2005). Concernant la rivière Kalamu à Boma, nous avons effectué le diagnostic en recourant notamment à une « coupe-environnementale » afin de mieux saisir les causes majeures de sa dégradation. Dans cette optique, le bassin versant a été segmenté en 18 sections, chaque section étant soumise à une enquête géo-environnementale basée sur des critères d'observation préfixés. Cela a permis de repérer les enjeux écologiques spécifiques à

chaque site tout en enregistrant les coordonnées géographiques des phénomènes observés.



**Figure 2:** Canevas méthodologique de contrat de rivière modifié suivant Rosillon (2005)

### 3.2.3. Matériels

Les images satellites correspondant à 4 scènes du satellite Landsat TM et ETM (path 183/row 063 et path 183/row 064) avec une résolution de 30 mètres ont été téléchargées du site de USGS (United States Geological Survey). Les cartes ont été créées en utilisant les logiciels ArcGIS 10.8, QGIS 3.36 et Google Earth Pro pour représenter la dynamique de la déforestation et des variations spatiales du bassin versant de la rivière Kalamu. Pour

la classification des images, des points de référence ont été rassemblés sur le terrain en utilisant un GPS.

## 4. Résultats et Discussion

### 4.1 Résultats

#### 4.1.1. Eléments de morphométrie du bassin versant de la Kalamu

Le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma a une superficie de 68, 84 km<sup>2</sup> et un périmètre de 44,36 Km. L'indice de compacité de Gravellius  $KG = \frac{p}{2\sqrt{\pi.A}} = 0,28 \cdot \frac{44,36}{\sqrt{68,84}} = \frac{44,36}{8,30} = 5,3445 \times 0,28 = 1,50$ . C'est un bassin versant très allongé, ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée. L'eau étant supposée en mouvement rectiligne uniforme, la vitesse moyenne (Vm) d'écoulement a été estimée lors des jaugeages pour les mesures de débits par la méthode du flotteur de surface. En effet, les résultats obtenus sont respectivement en secondes: 6, 10 pour la bouteille vide, 6,35 pour la bouteille à moitié remplie et 6,25 pour la bouteille pleine.

La moyenne de temps a donné:  $t = (6,8+6,65+6,64)/3 = 6,7$

Vitesse moyenne  $Vm = \frac{e}{t1} = \frac{d}{t1} = \frac{15}{6,7} = 2,31m/s$

Débit moyen  $Qm = 16, 12m^2 \times 2,31m/s = 37, 24 m^3/s$

Le profil en long de la rivière Kalamu à Boma est donné par la figure 3 du dénivelé (m) en fonction de la distance (Km).

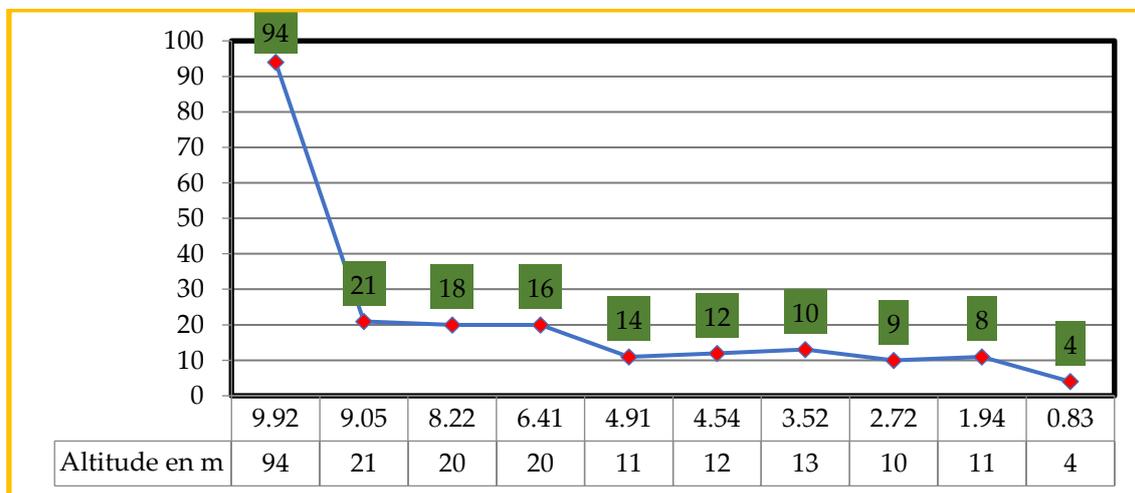
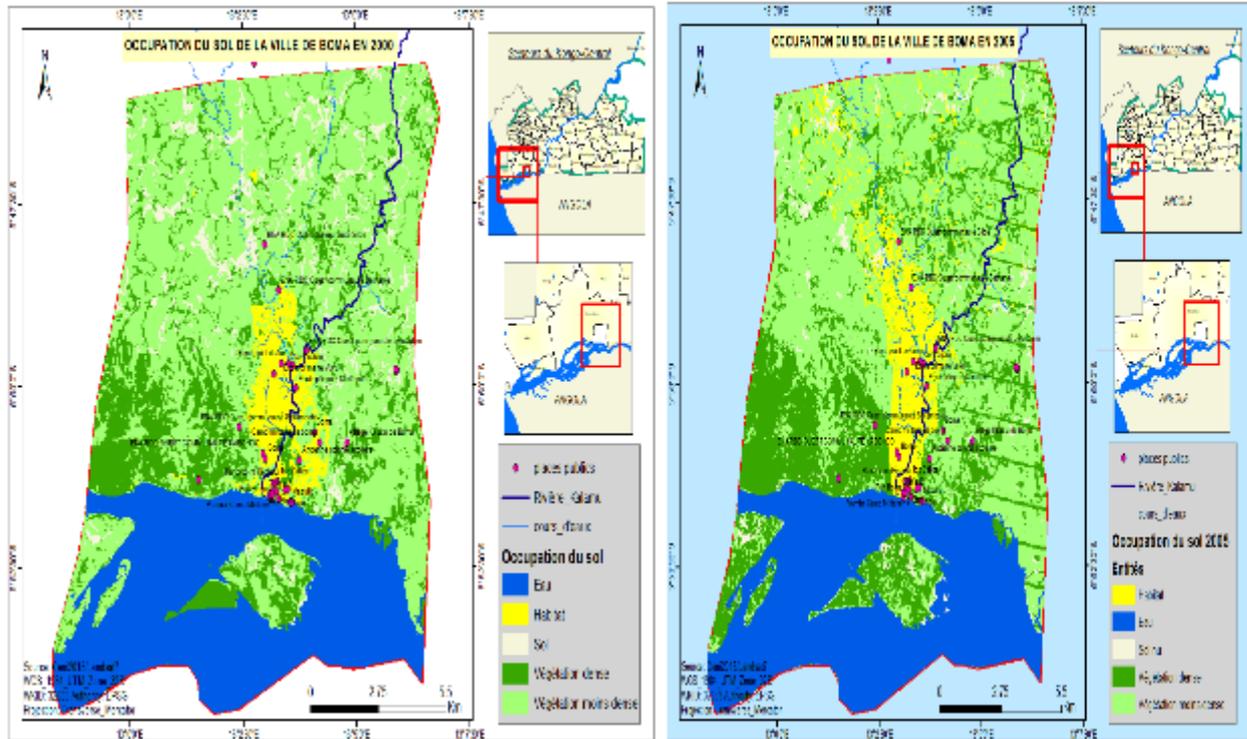


Figure 3: Profil en long de la rivière Kalamu

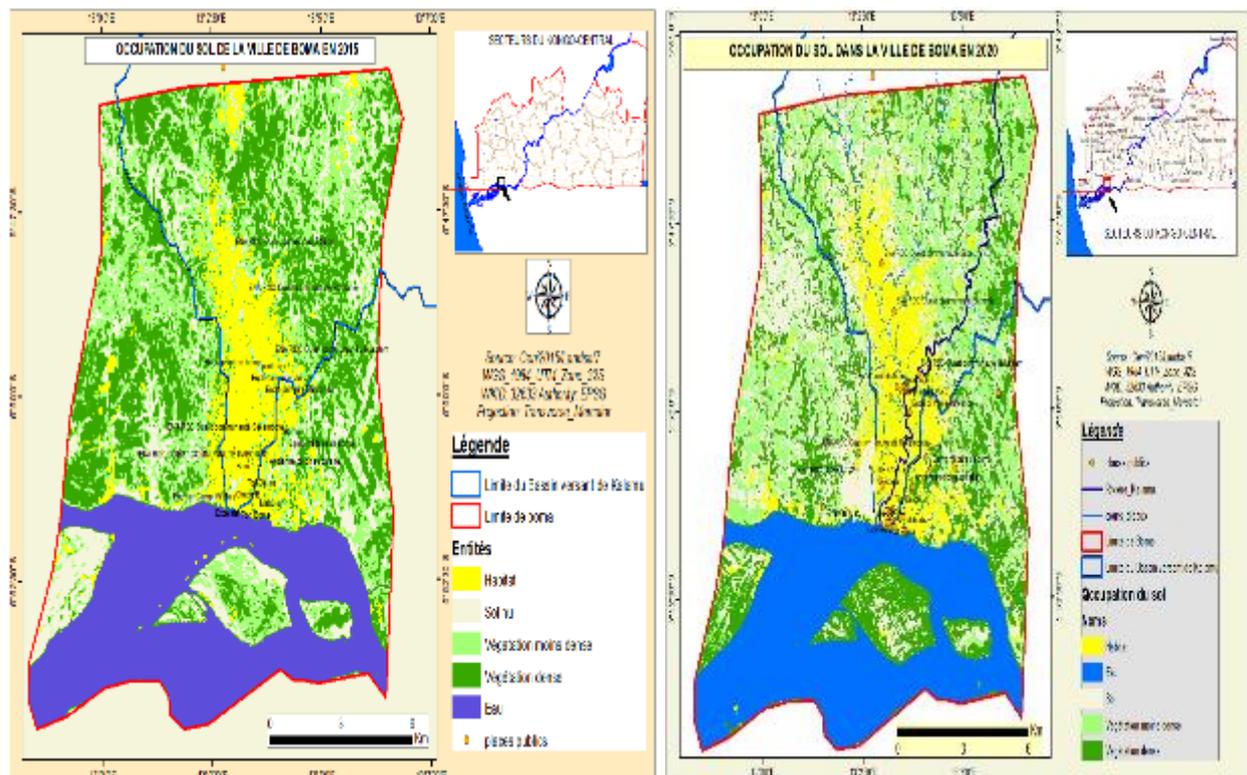
#### 4.1.2. Occupation du sol

La dégradation du couvert végétal s'accompagnant de conditions de moins en moins favorables au développement des épigés dans les premiers centimètres du sol, on constate une diminution de l'importance relative de cette catégorie écologique dans les environnements les plus transformés par les actions anthropiques. A l'évidence, les cartes d'occupation du sol qui suivent montrent la déforestation dans le bassin versant de la

rivière Kalamu depuis 2000 jusqu'à 2020. L'occupation du sol de la ville de Boma est présentée sur les figures 4, 5, 6, 7 et 8.



Figures 4 et 5: Occupation du sol de 2000 et 2005



Figures 6 et 7: Occupation du sol de 2015 et 2020

#### 4.1.3. Evolution de la couverture végétale

L'habitat en 2000 occupe 2,65% de superficie totale, puis après 5 ans, l'habitat a plus que doublé avec 5,93% en 2005. L'habitat augmente encore avec 9,63% en 2015 et 9,96% en 2020. Dans le même temps, le sol qui était 16,28% en 2000 passe respectivement à 23,80% en 2005, 25,22% en 2015 et 31,01% en 2020. Par contre la végétation dense couvrait 33,14% en 2000, 19,07% en 2005, 31,78% en 2015 et 41,21% en 2020. La végétation moins dense occupait 17,80% en 2000, 33,37% en 2005, 51,20% en 2015 et 47,93% en 2020. Une remontée presque au même niveau de recouvrement 51,20% en 2005, et 37,93% en 2000, le recru forestier ayant repris sa croissance rapide. Le recours à cette source d'énergie bois dans les ménages est dû aux coupures fréquentes de l'électricité. La crise économique est telle qu'on va jusqu'à couper les vieux manguiers qui sont dans les parcelles d'habitations.

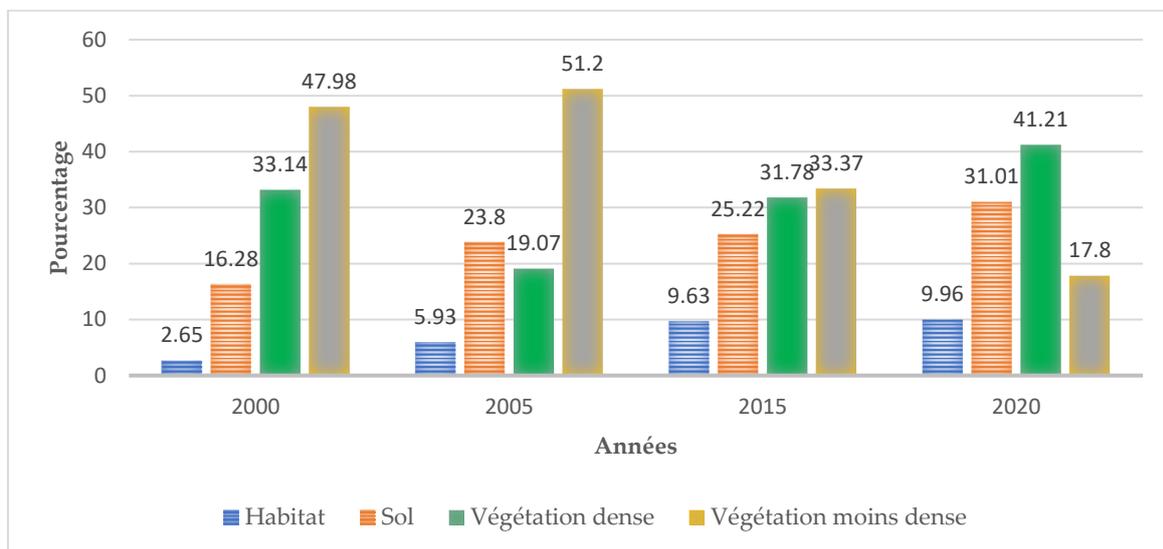


Figure 8: Evolution de la couverture végétale du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma

#### 4.1.4. Inondation dans le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma

Les manifestations des inondations peuvent être violentes et déferlantes ou lentes et progressives. Les pluies diluviennes qui se produisent particulièrement aux mois de novembre 2015 et décembre 2016 sont parfois à la base des inondations dramatiques observées dans la ville de Boma. A titre illustratif, en novembre 2015 et décembre 2016, la population de la ville de Boma a été confrontée, à la suite des épisodes pluvieux, à des inondations aux conséquences désastreuses notamment des pertes en vies humaines (40 habitants), dégâts matériels (24.160 habitants sont restés sans abris, 1.181 maisons écroulées). Ces inondations ont mis en lumière que la carte actuelle des zones sujettes aux inondations n'illustre pas de manière précise les dangers d'inondation auxquels la population fait face. Dans la ville de Boma, les quartiers inondables et non inondables ont été cartographiés (figure 9). Les quartiers inondables sont Buanionzi, Tshutuzi, Mao, Bunzi, Ngomuila, Boma Ville, Minkondo et Mvuanga ; tandis que les quartiers non

inondables sont Kikuku, Kimbangu, Kutu, Lukunga, Tadi, Lovo, Guzi, Luki et Sekambote (Vuni et al., 2023).

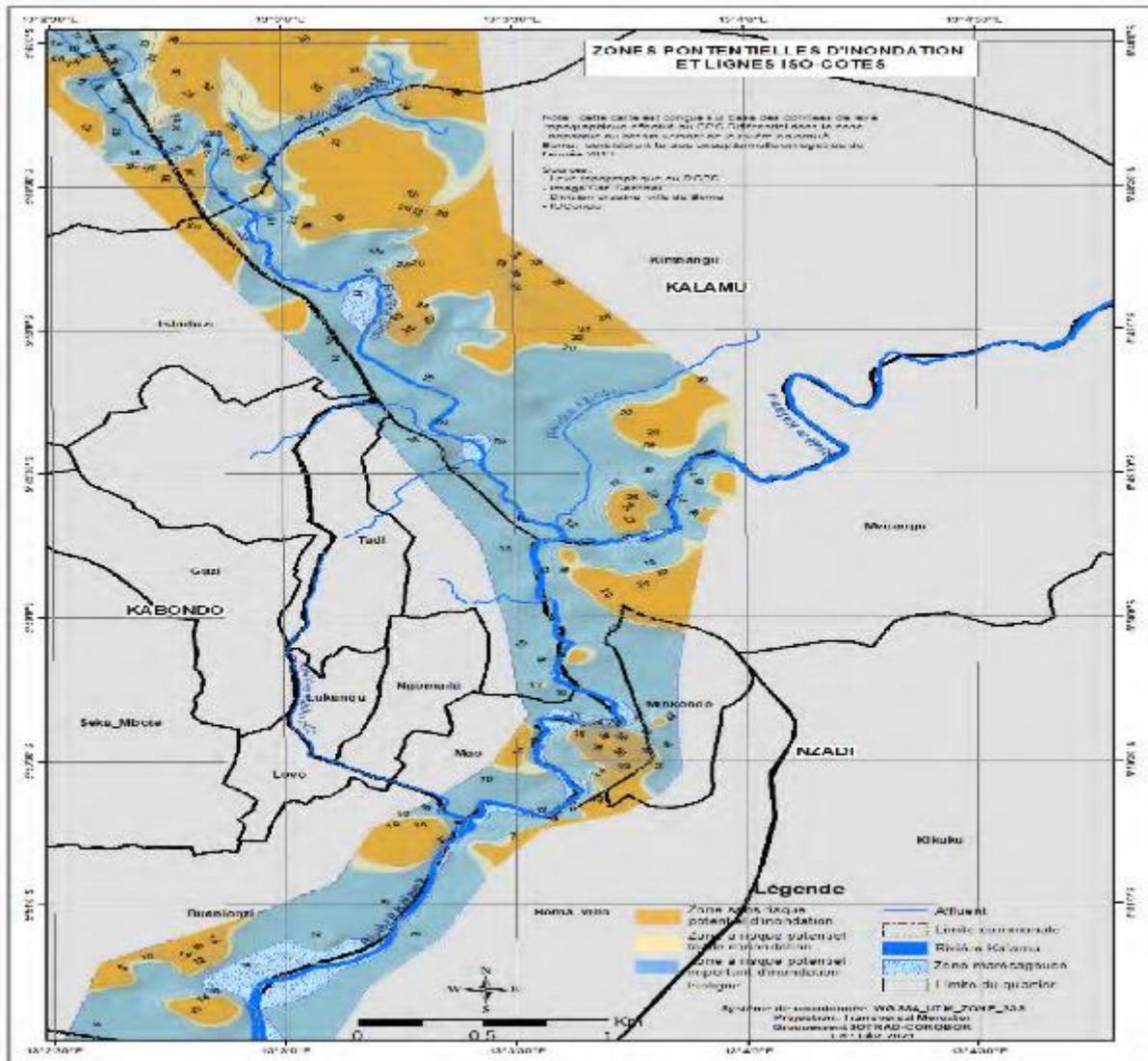


Figure 9: Zones potentielles d'inondation dans le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma

#### 4.1.5. Qualité de l'eau

La qualité de l'eau est déterminée non seulement par des critères physiques, chimiques et microbiologiques, mais aussi par son utilisation. Dans le cadre de l'analyse bactériologique, on a sélectionné les coliformes fécaux, totaux et *Escherichia coli* comme paramètres d'étude. Les caractéristiques physicochimiques comprennent: le pH, la conductivité électrique et la matière en suspension totale (TDS). L'analyse de la qualité bactérienne d'une rivière repose sur l'observation de germes microbiens spécifiques, des bactéries allochtones, généralement non pathogènes, propres à la flore intestinale. Si ces organismes sont retrouvés dans l'eau, cela signifiera qu'il y a une contamination fécale et donc une potentielle présence de bactéries pathogènes nuisibles. On les qualifie de bactéries indicatrices de contamination fécale. La présence accrue de coliformes fécaux

est donc due aux canalisations des toilettes qui libèrent les déchets fécaux dans la rivière. Voici les valeurs de plusieurs paramètres examinés dans cette recherche.

#### 4.1.5.1. Le pH

L'analyse du pH de l'eau sur l'ensemble des points échantillonnés donne des valeurs allant de 6,5 à 7,5. L'intervalle respecte les normes fixées par (l'OMS 2002) qui sont de 6,5 à 9,5 que ça soit en saison pluvieuse ou en saison sèche. La répartition spatiale des valeurs de pH mesurées montre des similarités en saisons sèche et pluvieuse, à l'exception nette de la partie Nord, et dans une moindre mesure au centre du bassin versant (figure 10).

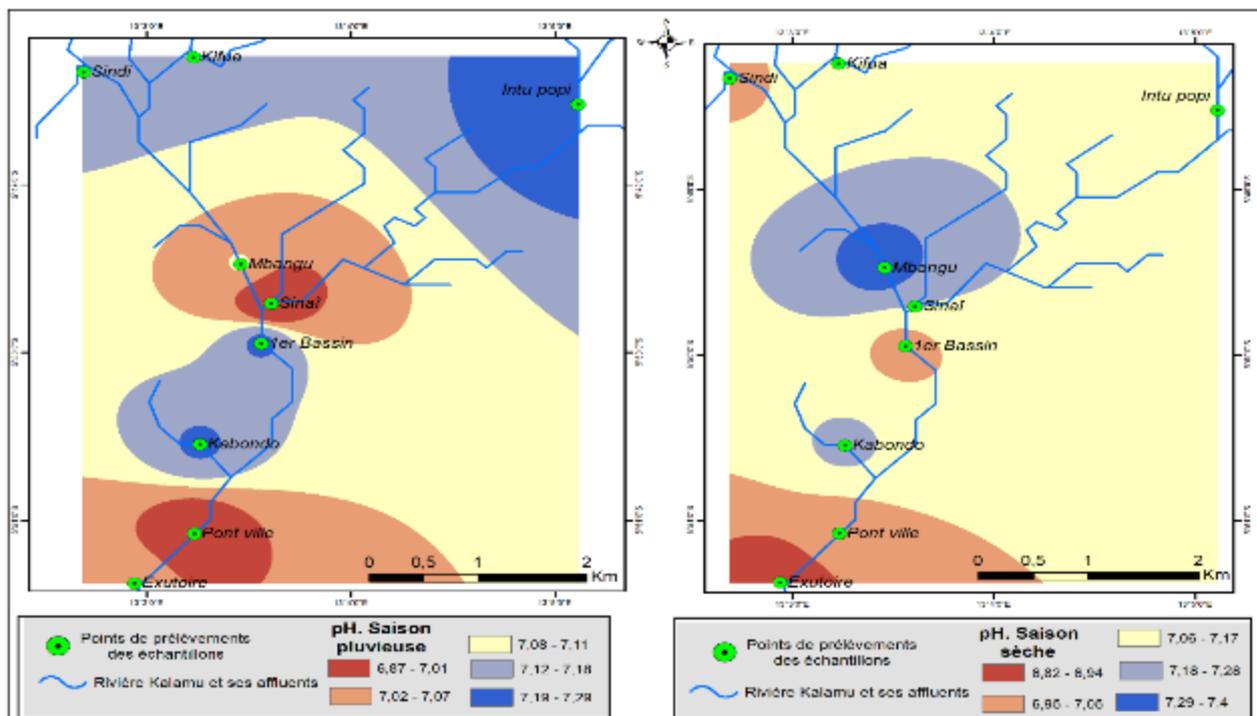
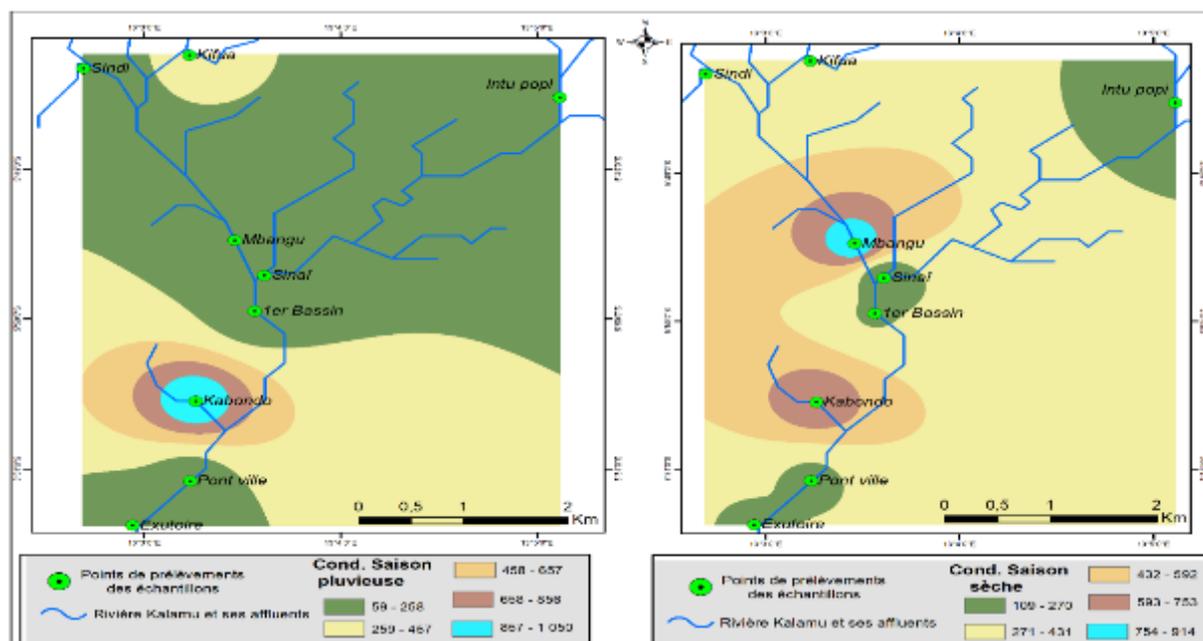


Figure 10: Répartition spatiale du pH pendant les saisons pluvieuse et sèche

#### 4.1.5.2. La conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau prélevée dans des points étudiés varie globalement entre un minimum de 59  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et un maximum de 1055  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (figure 23a). La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  selon la norme de l'OMS (2002). Sur ce point, la conductivité électrique de l'eau des points échantillonnés respecte les normes de l'OMS. Les valeurs de conductivité électrique de plus de 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sont signalées à Mbangu en saison sèche et à Kabondo pour les deux saisons. Comme pour la répartition spatiale des valeurs de pH, celle de conductivité électrique mesurée montre aussi des similarités en saisons sèche et pluvieuse, à l'exception nette de la partie nord du bassin versant (figure 11).



**Figure 11:** Répartition spatiale de conductivité électrique pendant les saisons pluvieuse et sèche

#### 4.1.5.3. Le TDS

Le TDS des échantillons d'eau prélevés varie entre un minimum de 29 mg/l et un maximum de 527 mg/l (figures 24a). Le TDS d'une eau naturelle est compris entre 51 et 200 mg/l suivant la norme de l'OMS (2002). Par rapport aux résultats obtenus, les valeurs toutes les deux saisons notées comme les plus faibles sont de la station Intu popi et les plus élevées sont respectivement de la station Mbangu en saison pluvieuse et Kabondo pour les deux saisons. La répartition spatiale des valeurs de TDS interpolées sur tout le bassin versant montre clairement une distribution saisonnière inverse, nette surtout dans la partie nord du bassin versant (figure 12).

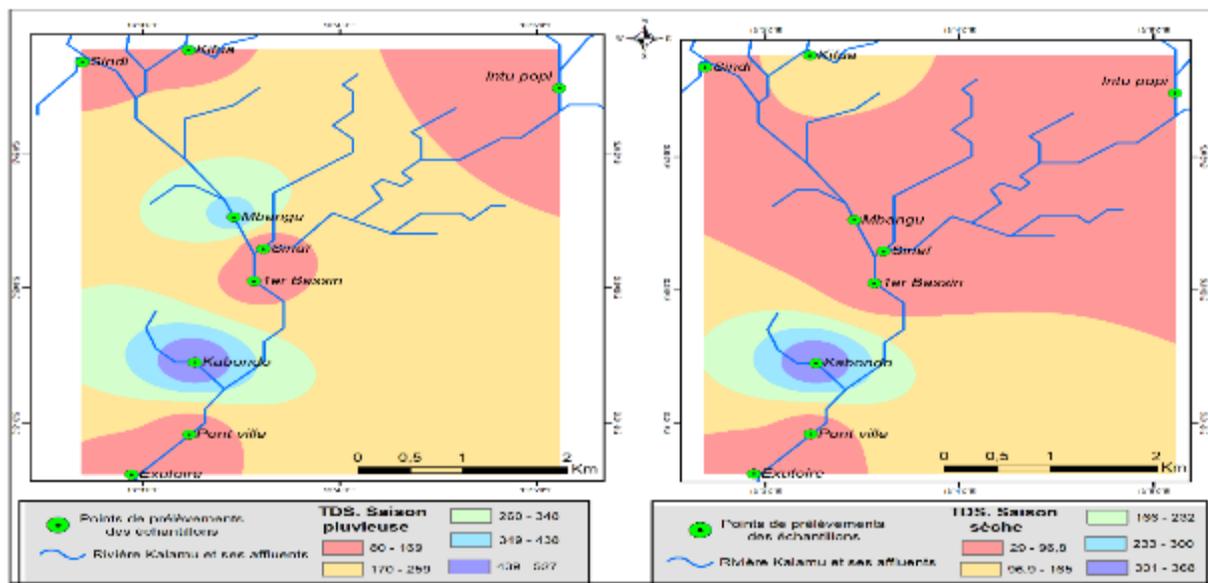


Figure 12: Répartition spatiale de TDS pendant les saisons pluvieuse et sèche

#### 4.1.5.4. Les coliformes totaux

Ces mesures consistent à déterminer la présence (présomption et confirmation) éventuelle des germes pathogènes dans la rivière. Il s'agit des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi dans l'environnement en général. La répartition spatiale interpolée présentée dans la figure 13 est quasi identique pour les deux saisons.

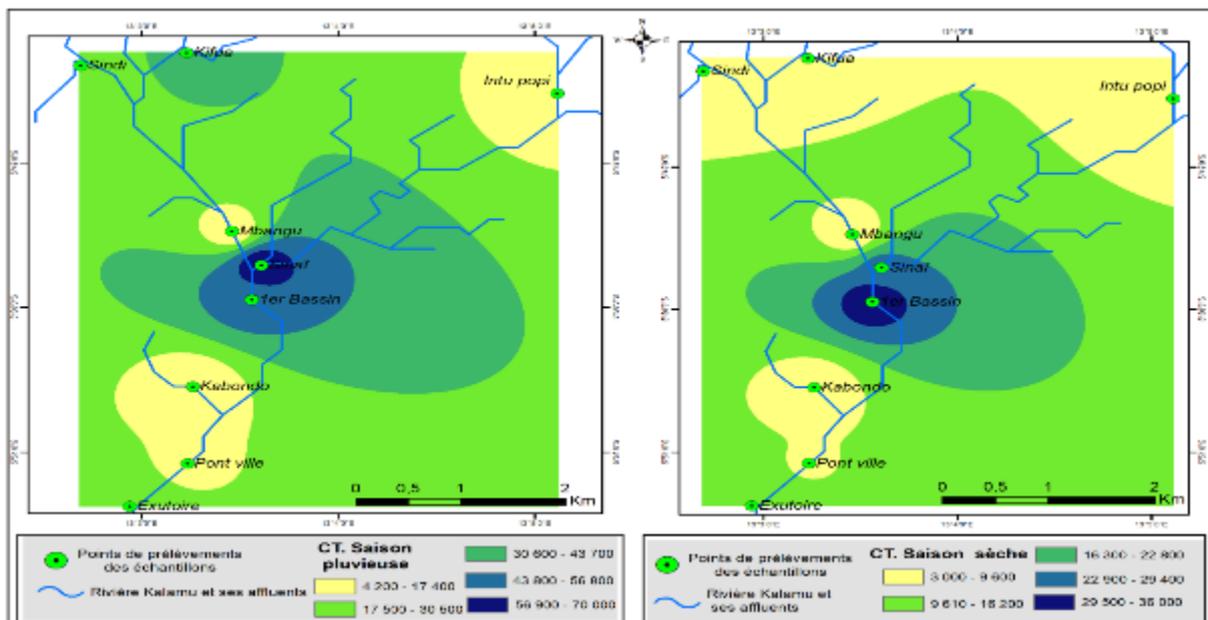


Figure 13: Répartition spatiale de coliformes totaux pendant les saisons pluvieuse et sèche

#### 4.1.5.5. Les coliformes fécaux

La mesure des coliformes fécaux consiste à déterminer la présence (présomption et confirmation) éventuelle des germes pathogènes dits thermocollants dans la rivière. Ils sont généralement considérés comme indicateurs d'une pollution d'origine fécale humaine ou animale récente ou constante (Véra Martinez, 2004). La répartition spatiale interpolée des coliformes fécaux présentée dans la figure 14 est quasi identique pour les deux saisons.

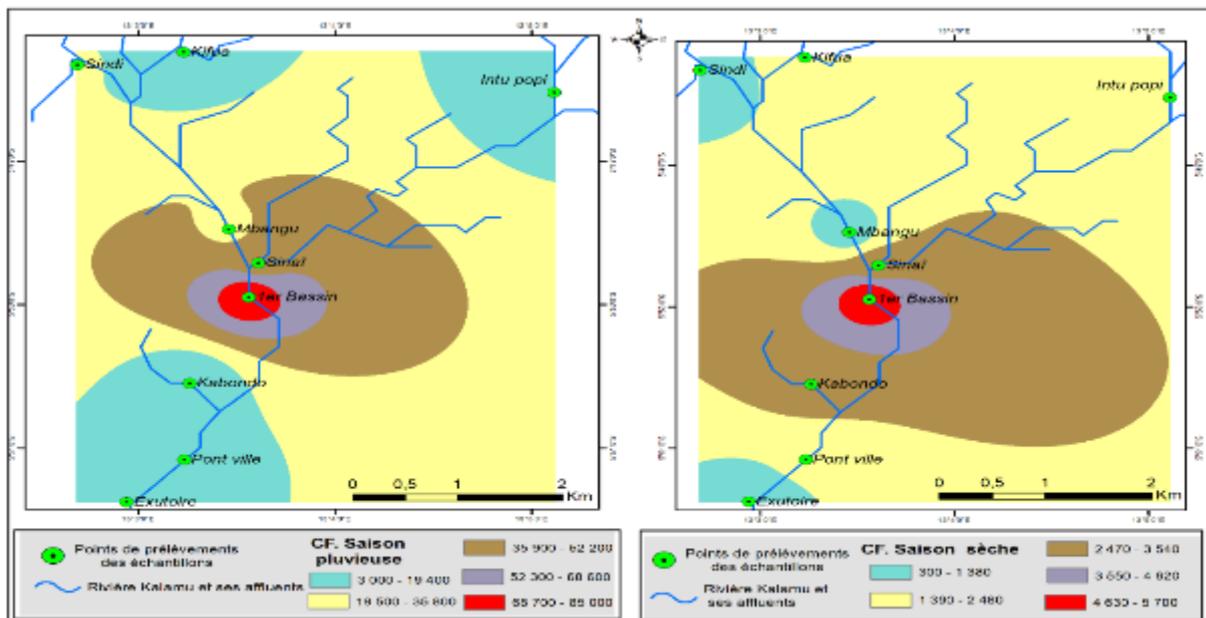


Figure 14: Répartition spatiale de coliformes fécaux pendant les saisons pluvieuse et sèche

#### 4.1.5.6. Escherichia Coli

Il s'agit de déterminer la présence d'Escherichia Coli (E. Coli), cette bactérie qui réside dans le tube digestif des êtres humains et des animaux à sang chaud. Parmi les souches pathogènes, il y a les E. coli entérohémorragiques qui sont responsables de maladies diverses. La répartition spatiale est illustrée dans la figure 15 pour les deux saisons.

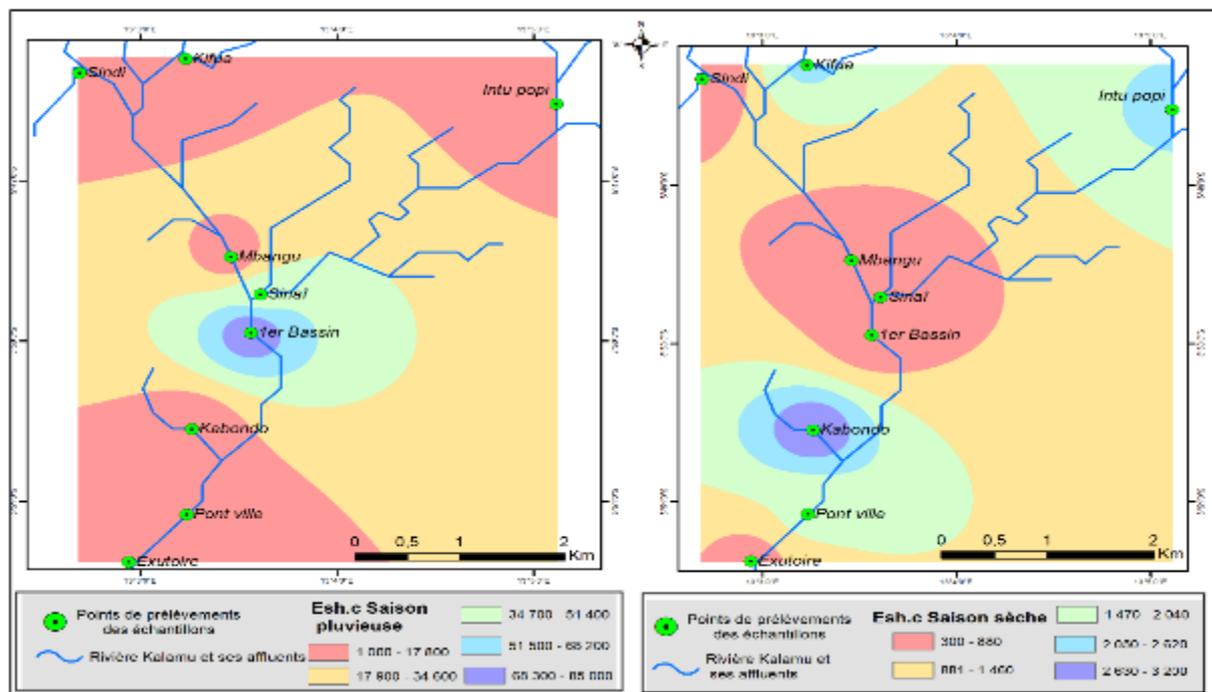


Figure 15: Répartition spatiale d'Escherichia coli pendant les saisons pluvieuse et sèche

## 4.2. Discussion

La situation environnementale de la rivière Kalamu à Boma telle que décrite supra est si alarmante que l'autorité urbaine s'est vue obligée de réagir avant qu'un autre épisode tragique d'inondation puisse encore endeuiller la ville. Selon Vuni et al. (2023) le curage du tronçon qui s'étend de l'hygiène Kalamu jusqu'au pont Cobra avait sauver la population de cette ville. Ce tronçon, long de 3.000 m, s'est fait en trois parties. La première partie curée est longue de 580 m et large de 15m, avec une profondeur d'environ 3 m. Pour ce faire, le camion-benne fait 1 seul tour par jour pour évacuer les sédiments et autres solides curés (Vuni et al., 2023). A Boma, la rivière Kalamu est considérée comme une poubelle de tous les déchets produits dans cette ville. Les modes d'évacuations les plus nuisibles ou les plus polluants sont le rejet direct dans la rivière (43%), dans la rue (12 %), soit seulement 11% pratiquent le compostage des déchets ménagers, 10% pratiquent l'incinération sur place dans les caniveaux (9%), 8% pratiquent l'enfouissement sur place, et enfin 7% pratiquent le dépôt dans les champs (Vuni, et al., 2022). Ces résultats ne sont pas du même ordre de grandeur que ceux issus des investigations menées par Mambambu, (2001), qui montrent que 81,3% soit 8.360 sur 10.277 des parcelles dans la ville de Boma jettent leurs ordures soit dans les torrents, soit dans la rivière Kalamu. 63,8% soit 6.562 sur 10.277 parcelles, disposent des toilettes, contre 3.715 soit 36,2% des parcelles ne possédant pas des installations hygiéniques dans la ville de Boma.

Vuni et al., (2023) les résultats sur l'origine des inondations dans la ville de Boma, 16 % sont pour les constructions anarchiques, 15 % disent que la déforestation est à la base des inondations, 14 % pensent que c'est le manque d'entretien de la rivière, 13 %

considèrent le manque d'entretien des caniveaux, 12 % retiennent le réseau d'égouts, 11 % pointent l'ensablement dans la rivière, 10% indiquent le rejet sauvage des déchets dans la rivière et 9 % les changements climatiques. En ce qui concerne les impacts des inondations : 35% pointent les pertes en vies humaines et matériels, 25% songent à la perturbation des activités humaines, 20% pensent à la destruction des sites agricoles, 15% constatent la coupure de l'eau et de l'électricité et 5% parlent de la destruction des maisons.

Quant à l'occupation successive des sols, de 2000 à 2020, les images parlent d'elles-mêmes. En effet, lorsque l'habitat croît, le sol nu ne peut croître, la végétation moins dense augmente puis croît rapidement, tandis que la végétation dense chute brutalement passant de 33,14 à 19,07% avant de reprendre une remontée à 31,8 puis 41, 2% en 2020, c'est-à-dire au-dessus du recouvrement à l'origine. L'année 2005 représente indiscutablement une année de déforestation consécutive à l'agriculture sur abattis brûlis et au besoin de constructions en rapport avec le sol nu et l'habitat. La végétation moins dense indiquerait que les recrues forestières ont augmenté. Cette dégradation forestière est entretenue par l'anarchie foncière, l'urbanisme anarchique, la croissance démographique galopante, la pauvreté, l'agriculture sur brûlis, la cuisson des briques et des aliments. La forêt a été la plus exploitée en République Démocratique du Congo avec un taux de déforestation 0,6% par an, soit trois fois supérieur à la moyenne nationale de 0,2 % (Mbuangi et al., 2021). 391 ménages (soit 97,8 %) utilisent le charbon de bois à cause du mauvais état du réchaud électrique et la crainte de réchaud à Gaz, 281 ménages (72 %) achètent des sacs, 110 autres (28 %) achètent des tas, 391 ménages utilisant le charbon de bois, 13,55 % de ménages achètent 2 tas par jour tandis que 29,16 % utilisent au moins 1 sac par mois et 292,769 Kg (soit 292,769 tonnes) comme quantité du charbon de bois utilisée par les ménages par année (Mbuangi et al., 2021). Comme 97% des ménages utilisent le, charbon de bois, sur un total de 40.000 ménages dans la ville, (97 % de 41.237). De ce fait, les 40.000 ménages utiliseraient 31.391.200 kg (soit 31.391,20 tonnes) par an (Mbuangi et al., 2021). Face à l'utilisation abusive des charbons de bois dans cette ville, la forêt de sa périphérie et celle de la réserve de biosphère de Luki sont fortement sollicitées et sont loin d'être gérées durablement (Mbuangi et al., 2021). Selon Kisangala et al. (2019), les bois ainsi produits dans les agglomérations périphériques de Boma sont vendus dans la ville de Boma. La déforestation, étant la diminution des surfaces couvertes de forêts, constitue une menace imminente à l'écosystème forestier. La forêt est soumise à une forte pression anthropique, montrant dans l'ensemble que la forêt a beaucoup changé en 25 ans, car il y'a eu déforestation et dégradation de la couverture végétale. Le taux moyen de déforestation est de 15,5 % pour une décennie dans la zone d'étude.

L'information spécifique sur la qualité (pollutions microbiologique et physico-chimique) de la rivière Kalamu est disponible dans Wanga (2014, 2015) et Vuni (2022). La contamination d'eau de surface a augmenté significativement dans les années récentes à cause de la mauvaise hygiène, du manque d'assainissement, du rejet des eaux usées non traitées. En effet, les lavages des véhicules, des vaisselles, les baignades, se font avec des

détergents comme les savons en poudre qui laissent des produits qui peuvent être la cause de la persistance des diarrhées. D'après Wanga et al. (2015), les résultats des paramètres physico-chimiques des eaux de la rivière Kalamu de Boma dans chaque point des prélèvements sont différents, la turbidité est liée aux activités anthropiques, le pH de l'eau brute varie de 6,6-8,5, la conductivité électrique varie entre 50 et 1500  $\mu\text{m}/\text{cm}$ , la couleur est de (93,83 Pt Co/l), la température ( $29,95^{\circ}\text{C}$ ), la turbidité (48,33 NTU), le TDS (46,4 mg/l), les matières en suspension (45,5mg/l), l'oxygène dissous (6,47mg/l), la saturation en  $\text{O}_2$  (84,58mg/l), le  $\text{NH}_4^+$  (0,16mg/l), le  $\text{Ca}^{2+}$  (214mg/l), le  $\text{Mg}^{2+}$  (106,11mg/l), le  $\text{Pb}^{2+}$  (70,41mg/l), le  $\text{Cd}^{2+}$  (20,49 mg/l), le  $\text{Cl}^-$  (58,9mg/l), le  $\text{Al}^{3+}$  (3,03mg/l), la DBO5 (18,5mg d' $\text{O}_2/\text{l}$ ), la DCO (61,04mg/l), le  $\text{PO}_4^{3-}$  (76,28mg/l), le  $\text{NO}_3^-$  (111,44mg/l) et le  $\text{SO}_4^{2-}$  (7,61mg/l) (Wanga et al., 2015).

En ce qui concerne les paramètres microbiologiques des eaux de la rivière Kalamu dans chaque point des prélèvements pendant les deux saisons, les résultats des paramètres microbiologiques tels que les valeurs d'*Escherichia coli* (UFC/100ml) pour la saison sèche varient d'un point à l'autre. Ces valeurs donnent, d'une part l'idée sur la qualité de l'eau de la rivière. Par contre, les coliformes fécaux dépassent le critère de qualité pour les activités récréatives. Selon Vuni et al. (2022), les résultats microbiologiques signalent la présence des coliformes totaux, entérocoques et *Escherichia coli* à des niveaux indiquant une contamination sévère. D'après Vuni et al. (2022), la contamination fécale des eaux de la rivière Kalamu dépasse les normes pour une utilisation domestique notamment lessive et baignade ; et agricole, avec plusieurs risques sanitaires pour la santé humaine. D'après Collins et al. (2004) et Jiang (2006), les coliformes totaux et fécaux sont considérés parmi les indicateurs de contamination fécale de l'eau les plus couramment et fréquemment utilisés dans l'évaluation des risques pour la santé humaine. L'étude de Wanga et al. (2014), sur l'état microbiologique des eaux de la rivière Kalamu de Boma et son influence sur la santé de la population, les résultats montrent la présence des germes-test de contamination à savoir les coliformes totaux, coliformes fécaux et *Escherichia coli* sur tous les sites de prélèvements. L'eau de la rivière Kalamu de Boma est donc contaminée suite à une mauvaise gestion des déchets (Vuni et al., 2022).

D'après PNUE, (2016). La loi sur l'eau trouve son fondement dans la constitution tout en incluant les dispositions relatives aux compétences constitutionnelles concurrentes et à celles exclusivement dévolues aux provinces. Elle respecte les principes universels de gestion des ressources en eau et du service public de l'eau. Elle vise à:

- Fixer les règles de la gestion durable et équitable des ressources en eau en vue d'assurer leur protection et de réglementer son utilisation (Titre III et VI) ;
- Déterminer les instruments nécessaires pour la gestion rationnelle et d'équilibrée du patrimoine hydrique, selon une approche multisectorielle qui tienne compte des besoins présents et à venir (Titre IV) ;

- Renforcer les exigences relatives à une étude d'impact environnemental et social, préalable à la concession et au prélèvement des ressources en eau en instituant un régime juridique basé sur la déclaration, l'autorisation et la concession (Titre IV) ;
- Mettre en place un système de suivi et de prévention des catastrophes (Titre VII) ;
- Fixer les responsabilités relatives au service public de l'eau et à l'assainissement en les adaptant aux exigences actuelles du développement économique et social du pays (Titre V) ;
- Instaurer le principe de consultation préalable du peuple congolais par voie référendaire pour le transfert d'eau douce (Titre IX) ;
- Attirer, les investisseurs vers le secteur et favoriser une émergence hydrique nationale par le recours à la formule du partenariat public/privé à travers des mesures de sécurisation.

## 5. Conclusion

Cette étude a eu pour finalité de réaliser un diagnostic de la rivière Kalamu à Boma afin de développer un contrat de rivière dans le bassin versant. En effet, sur le plan environnemental, le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma, a connu une modification écologique à cause des activités humaines diverses. Cette étude a établi un diagnostic assez exhaustif et répertorié les actions à réaliser pour la gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant. Ce diagnostic a montré que la rivière Kalamu à Boma est en déséquilibre écologique et risque de disparaître de la carte hydrographique de la RDC si rien n'est fait maintenant. La population locale en est consciente et est prête à participer aux travaux de sa survie à travers un contrat de rivière. Cette volonté populaire nous a encouragés à plaider pour un contrat de rivière urgent pour la Kalamu en vue de restaurer sa santé écologique et de préserver son eau. Une telle démarche aura aussi pour résultat une valorisation de l'écosystème du bassin versant au plan santé, humaine, touristique, loisir, récréatif. Si l'extraction du sable peut être comme une action positive en ce qu'elle soustrait à la rivière une partie de sa charge solide qui exhausse son lit mineur et prédispose celui-ci à déborder rapidement, la cuisson des briques adobes, par contre participe à la dégradation de la végétation même intra-urbaine parce que le bois qui sert à la cuisson est coupé dans les écosystèmes voisins. Enfin, le cadre juridique (loi n° 15/026 du 31 décembre 2015 portant relative à l'eau, loi n° 011/2002 du 29 août et loi N° 11/009 du 09 juillet 2011 portant principes fondamentaux relatifs à la protection de l'environnement en vigueur en RDC impose implicitement le contrat de rivière dans leurs applications.

### Déclaration de conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

### About the Author(s)

**Vuni Simbu Alexis**, Msc, Doctorant, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

**Mubanga Nzo Ayum Ntub Godefroid**, Msc, Doctorant, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

**Masiala Bode Mabu**, Professeur associé, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

**Belani Masamba Justin**, Professeur associé, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

**Kisangala Muke Modeste**, Professeur full, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

**Lelo Nzuzi François**, Professeur ordinaire, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

**Nzau Uмба di Mbudi Clement**, Professeur full, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

### Références bibliographiques

- Bado Sama H., Yéyé S., 1999. Le « contrat des rivières » peut-il contribuer à mieux gérer l'environnement burkinabé ? *Arbre et Développement* 24 : 22-24.
- Brun, A., (2006). «Les politiques de l'eau: objectifs, principes et éléments de débat», dans A. Brun et F. Lasserre (dir.), *Les politiques de l'eau. Grands principes et réalités locales*, Québec, Presses de l'Université du Québec, p. 8-9.
- Brun, A., (2010). «Les contrats de rivière en France: enjeux, acteurs et territoires», *Cahiers de droit de l'Université Laval*, vol. 51, nos 3-4, p. 679-704.
- Celine J., (2010). *Adaptabilité des contrats de rivières au bassin versant de la Lukaya en République Démocratique du Congo/Mémoire de master complémentaire en Sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement/Université de Liège*, 23, 45 p.
- Collins R. & Rutherford K., 2004 : Modelling bacterial water quality in streams draining pastoral land. *Water Research*. 38,700–712.  
<https://doi.org/10.1016/j.waters.2003.10.045>
- Gangbazo G., (2004). *Gestion intégrée de l'eau par bassin versant: concept et application*, Direction des politiques de l'eau, Ministère de l'Environnement du Québec, 58 p.
- Ghiotti, S., (2006). *Les Territoires de l'eau et la décentralisation. La gouvernance de bassin versant ou les limites d'une évidence. Développement Durable et Territoires*.
- GWP, 2009. *Le Réseau international des organismes de bassin (RIOB) (2009). Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin*, pp: 111, 47, 10.
- GWP, 2005. *Plans de gestion intégrée des ressources en eau : Manuel de formation et guide opérationnel*, Juin 2005, 105 p.

- GWP., (2000). Integrated water resources management, Technical Committee Background paper 4, Global Water Partnership Secretariat, Stockholm, 80 p.
- Hooper B., 2005. Integrated River Basin Governance, Learning from International Experience. IWA Publishing, London, Seattle, 306 p.
- Inforessources, 2003. Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) – La voie du développement durable. Focus n° 1/03.
- Kisangala M., Kamosi Z. & Kafuti S., 2019 : Evaluation de l'état de la Déforestation de la Forêt du Mayombe par Télédétection de 1990 à 2015 (Province du Kongo Central-R.D. Congo. Congo Sciences, *Journal en ligne de l'ACASTI et du CEDESURK ACASTI and CEDESURK Online Journal* ISSN: 2410-4299, an International Journal : 102-107 p.
- Jiang C., 2006 : Human Adenoviruses in Water : Occurrence and Health Implications : A Critical Review. *Environmental Science & Technology*, (40), 7132–7140 p.
- Malavoi J., (2007). La restauration hydromorphologique des cours d'eau : concepts et exemples en France. Communication colloque « la gestion physique des cours d'eau »MRW, GIREA, ULG, Namur, octobre 2007
- Molle, F.; Wester, P. and Hirsch, P., (2007). River basin development and management. In: Water for food, water for life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Chapter 16: 585-624.
- Mbuangi Lusuadi M. & Ntoto M'vubu R., 2021 : La consommation du charbon de bois dans la ville de Boma (RDCongo) : enjeux socioéconomiques et écologiques *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, Vol. (vi), No.1, Avril 2021, 52-61 p.
- OMS, 2002 : Directives de qualité pour l'eau de boisson, 14<sup>ème</sup> édition, vol 8, Genève.
- PNUE., (2016). « Plan d'actions pour la gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant de la rivière Lukaya », Rapport du Programme des Nations Unies Pour l'Environnement sur l'eau en RDC, 98 p.
- Romagny, B et Cudennec, C., (2006). Gestion de l'eau en milieu aride : considérations physiques et sociales pour l'identification des territoires pertinents dans le Sud-Est tunisien. Développement durable et territoires, Dossier 6.
- Rosillon F. & Vander Borgh P., (2001). Mobilisation au fil de l'eau : dix années d'expérience de contrat de rivière en Wallonie. *Annales des Mines*, octobre 2001: 39-54 p.
- Rosillon F. & Vander Borgh P., (2005). Les contrats de rivière en Wallonne (Belgique) : retour d'expériences. *Revue Européenne de droit de l'Environnement* 4-2004, 414-429 p.
- Rosillon F., 2006. Local actions for a global challenge through the experiences of a river contract in Belgium and in Burkina Faso (West Africa). World Water Forum, Mexico, mars 2006, Local action LA0818 + Poster

- Rosillon F., (2007). Contribution à la gestion intégrée des eaux et des sols à travers l'application du contrat de rivière Sourou au Burkina Faso, *Actes des JSIRAUF*, Hanoi, 6-9 novembre, 7 p.
- Rosillon F., (2007). Le contrat de rivière : un outil de gestion intégrée et participative de l'eau au niveau local à vocation universelle ? Application en Région Wallonne de Belgique et au Burkina Faso. Communication présentée au premier colloque international sur la problématique de l'eau en République Démocratique du Congo.
- Rosillon F., (2007). The river contrat, for an integrated and participative water management in protected areas. IWA, Int. Conf. *Waters in protected areas*, Dubrovnik, 6 p.
- Rosillon, F., (2015a). Code de l'eau : lecture comparée de l'ancien et du nouveau. Communication présentée à la Formation GIRE, Kaolack.
- Rosillon, F., (2015b). La GIRE : du concept à l'application - Concept et définition. Communication présentée à la Formation GIRE, Kaolack.
- Rosillon, F., (2012). Quelques clés de succès et verrous pour des portes résistantes à la GIRE. Organisation internationale de la francophonie. Eau et Assainissement Enjeux et partage de bonnes pratiques. N° 92.
- Rosillon F., Lobet J., Tassin M. & Vander Borgh P., 2009 : La Semois et son bassin, histoire d'un contrat de rivière. In *Au fil de la Semois, Cahiers de l'académie du livre luxembourgeois*, 23/2009, 29-59 p.
- Trottier J., (2012). L'avènement de la gestion intégrée des ressources en eau, in chapitre 6, gestion de l'eau, approche territoriale et institutionnelles sous la direction d'Alexandre Brun et Frédéric Lasserre, presses universitaires du Québec, 209 p.
- Vuni Simbu A., Aloni Komanda J., Lelo Nzuzi F. & Nzau, Umba di Mbudi C., (2020). Kalamu à Boma, une rivière agressée : Diagnostic en vue d'un contrat de rivière. *Bulletin du Centre de Recherches Géologiques et Minières, Numéro Cumulatif, XIII* (décembre) : 195-213 p.
- Vuni Simbu A., Pangu Sanghy S., Mabilia Mulomba P., Lelo Nzuzi F., Koy Kasongo R., Aloni Komanda J., Malaise F. & Nzau Umba di Mbudi C., (2022). Eléments d'appréciation d'un bassin versant en vue d'un contrat de rivière : Cas de la Kalamu à Boma (Kongo Central, RD. Congo) *Revue, Géo-Eco-Trop*, 46, 1 : 4-62 p.
- Vuni Simbu A., (2023). Diagnostic et perspectives d'aménagement fluvial de la rivière Kalamu à Boma en vue d'un contrat de rivière, Mémoire de DEA, Diplôme d'Etudes Approfondies en Aménagement du Territoire et Urbanisme/Université de Kinshasa, 83 p.
- Vuni Simbu A., Kisangala Muke M., Puela Puela F., Lelo Nzuzi F., Koy Kasongo R., Aloni Komanda J., Malaise F. & Nzau Umba di Mbudi C., (2023). Contrat de rivière et résilience de la population face à la mauvaise gestion de l'environnement et aux risques des inondations dans le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma (Kongo Central, RD. Congo) *Revue, Géo-Eco-Trop*, 46, 2 : 203-216 p.

- Vuni Simbu A., Kisangala Muke M., Mabilia Mulomba P., Lelo Nzuzi F., Koy Kasongo R., Aloni Komanda J., Malaise F. & Nzau Umba di Mbudi C., (2024). Diagnostic Hydro-qualitatif des eaux du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma, *European Journal of Social Sciences Studies*, Volume 6, pp: 131-147.
- Wanga M., Musibono E., Mpiana T., Mafuana F., Kiza J. & Diana., 2015 : Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Kalamu de Boma, R D Congo, *Congo Sciences Journal en Ligne de l'ACASTI et du CEDESURK ACASTI and CEDESURK Online Journal ISSN : 2410-4299, an International Journal*, Volume 3 | Numero 1 | March 2015, 56-57 p.
- Wanga M., Musibono E., Mpiana T., Mafuana F., Kiza J. & Diana., 2014 : Etat microbiologique de eaux de la rivière Kalamu de Boma et son influence sur la santé de la population, *Congo Sciences*, 2(1, March 2014): 14-20 p.
- Wellens, J. (2018). La question de l'eau dans les pays en développement ou GIRE: passé, présent, futur. Communication présentée au cours de GIRE, Arlon.

Creative Commons licensing terms

Author(s) will retain the copyright of their published articles agreeing that a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) terms will be applied to their work. Under the terms of this license, no permission is required from the author(s) or publisher for members of the community to copy, distribute, transmit or adapt the article content, providing a proper, prominent and unambiguous attribution to the authors in a manner that makes clear that the materials are being reused under permission of a Creative Commons License. Views, opinions and conclusions expressed in this research article are views, opinions and conclusions of the author(s). Open Access Publishing Group and European Journal of Social Sciences Studies shall not be responsible or answerable for any loss, damage or liability caused in relation to/arising out of conflicts of interest, copyright violations and inappropriate or inaccurate use of any kind content related or integrated into the research work. All the published works are meeting the Open Access Publishing requirements and can be freely accessed, shared, modified, distributed and used in educational, commercial and non-commercial purposes under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)