



**DIAGNOSTIC HYDRO-QUALITATIF DES EAUX
DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE KALAMU
À BOMA, KONGO CENTRAL, R. D. CONGOⁱ**

**Vuni Simbu Alexis¹ⁱⁱⁱ,
Aloni Komanda Jules²,
Mabiala Mulomba Philippe³,
Kisangala Muke Modeste⁴,
Lelo Nzuzi Francis⁵,
Nzau Umba-di-Mbudi Clement⁴**

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

²Professeur Emérite,
Faculté des Sciences et Technologies,
Université de Kinshasa,
République Démocratique du Congo

³Assistant de recherché,
(Commissariat Général à l’Energie Atomique:
Centre Régional d’Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K),
Université de Kinshasa,
République Démocratique du Congo

⁴Professeur Full,
Faculté des Sciences et Technologies,
Université de Kinshasa,
République Démocratique du Congo

⁵Professeur Ordinaire,
Faculté des Sciences et Technologies,
Université de Kinshasa,
République Démocratique du Congo

Résumé :

Dans le cadre d’un contrat de rivière Kalamu à Boma, un suivi de la qualité des eaux a été réalisé en 2022. Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été suivis sur neuf sites de prélèvement de l’amont jusqu’à son embouchure et soumis aux analyses. Les activités anthropiques dans le bassin versant sont en effet très variées, elles ont

ⁱ HYDRO-QUALITATIVE DIAGNOSIS OF WATER IN THE WATERSHED OF THE KALAMU RIVER IN BOMA (KONGO CENTRAL, D.R. CONGO)

ⁱⁱ Correspondence: email vunitresor@gmail.com, alonikomanda@gmail.com, phimabiala63@gmail.com, modestekis@gmail.com, lelonzuzi@yahoo.fr, clement.mbudi@unikin.ac.cd

entraîné l'occupation de l'espace jusqu'au lit majeur et sont de ce fait susceptibles de créer des problèmes de pollution environnementale. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont mis en évidence la relation entre les activités anthropiques et la qualité physico-chimique et bactériologique des plans d'eau particulièrement sur certains sites. Les analyses microbiologiques de coliformes totaux des eaux a varié entre 3000 à 70000 mg/l, les coliformes fécaux entre 1400 à 85000 mg/l, et pour *Escherichia coli* 300 à 20 000 mg/l. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que les eaux de la rivière ne présenteraient pas de danger majeur pour la santé humaine et l'environnement. D'une manière générale, les eaux de la rivière Kalamu à Boma sont plus sensibles aux pollutions. Cette pollution se manifeste entre autres par les inondations dont est victime la population riveraine et par les perturbations chimiques des eaux.

Mots-clés : diagnostic hydro, qualité de l'eau, pollution de la rivière, Kalamu à Boma

Abstract:

As part of a Kalamu River contract in Boma, water quality monitoring was carried out in 2022. The following physicochemical parameters: pH, electrical conductivity and TDS, were analyzed from upstream to its mouth. The results highlighted the relationship between anthropogenic activities and water quality, particularly on certain sites. Anthropogenic activities in the watershed are very varied, they have led to the occupation of space up to the major bed and are therefore likely to create environmental pollution problems. Microbiological analyzes of total coliforms in water varied between 3000 to 70,000 mg/l, fecal coliforms between 1400 to 85,000 mg/l, and for *Escherichia coli* 300 to 20,000 mg/l. The results of the physicochemical analyzes show that the waters of the river do not present a major danger to human health and the environment. Generally speaking, the waters of the Kalamu River in Boma are more sensitive to pollution. This pollution manifests itself, among other things, in the flooding suffered by the local population and in the chemical disturbances of the water.

Keywords: hydro diagnosis, water quality, river pollution, Kalamu to Boma

1. Introduction

L'expression « on ne conserve pas durablement ce qu'on ne connaît pas » est un avertissement sur la nécessité d'améliorer les connaissances ayant pour but de tendre vers une gestion durable des ressources en eau en particulier et de l'environnement en général. L'eau douce est une ressource essentielle à la vie. Elle est éligible à la conservation des écosystèmes aquatiques et des activités anthropiques. L'eau était considérée jusqu'au XX^{ème} siècle comme une ressource inépuisable permettant aux usagers de se l'approprier et de l'exploiter en fonction de leurs besoins. L'eau douce est un aliment indispensable à la vie des hommes, des animaux et des plantes (Kahoul et

Touhami, 2014). Elle est une ressource stratégique et fondamentale à l'existence de l'être humain (Odoulami, 2009).

L'interaction entre l'homme et la rivière signifie souvent les prélèvements d'eau potable, rejets d'eaux usées, dépôts des ordures, extraction de sable et de gravier alluvionnaire, la pêche, la baignade, la lessive, fabrication des briques adobes et la vaisselle. Ces activités anthropiques faisant appel à la mobilisation des ressources en eau sont capables d'y provoquer un transfert de polluants (Emmanuel *et al.*, 2004). Ces sources de pollution peuvent être à l'origine d'une détérioration grandissante de la qualité des ressources en eau quand la protection du milieu récepteur n'est pas garantie par les acteurs (Fifi, 2010 ; Wanélus, 2016). La détérioration de la qualité des ressources en eau devient donc une préoccupation à l'échelle mondiale surtout en cette période des changements climatiques (Kouam Kenmogne, 2013).

En effet, notre connaissance très peu ou pas du tout de travaux ne semblent être notés sur la qualité des eaux de la rivière Kalamu à Boma. La croissance démographique considérable que connaît cette ville et leurs conditions socioéconomique de sa population entraînent une urbanisation anarchique difficilement contrôlable constitu ainsi une véritable source de la dégradation de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau. Les risques de propagation des maladies d'origine hydrique telles que le choléra, les hépatites, la dysenterie, et toutes autres maladies dont les vecteurs sont des moustiques deviennent plus importants (Brangeon, 2015). Partant de ce constat, le but visé par la présente recherche est d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique de quelques sites le long de la rivière Kalamu à Boma.

3. Matériels et méthodes

3.1. Milieu d'étude

L'étude a été réalisée dans le bassin versant de la rivière Kalamu affluent du fleuve Congo. Elle est située à 125 kilomètres de Matadi, 117 kilomètres de Muanda et 470 kilomètres de Kinshasa. Ce bassin versant inclus la réserve de biosphère de Luki. Les coordonnées géographiques de Boma sont 13° 00' 00'' et 13° 11' 30'' de longitude Est, et 5° 39' 00'' et 5° 51' 00'' de latitude Sud. La Kalamu prend sa source en milieu rural dans une forêt à une altitude de 300 m d'où elle descend jusqu'à 181 m en pleine savane. Dans la partie urbaine, la Kalamu draine trois communes, (Kalamu, Kabondo et Nzadi) avant de se jeter dans le fleuve Congo aux environs du port de Boma. Son bassin versant possède une superficie de 68,84 km² et un périmètre de 44,36 km (Figure 1). La ville de Boma jouit d'un climat tropical humide du type A_{w4} suivant la classification de Köppen : une saison des pluies de 8 mois (octobre à mai) où les précipitations varient entre 900-1500 mm/an, une légère inflexion de pluies mi-janvier à mi-mars. Les pluies sont orageuses et souvent de courtes durées dans la ville de Boma (Vuni *et al.*, 2020). La saison sèche se situe de mi-mai à septembre avec une quasi-absence des pluies. La température moyenne annuelle est de 25°C, l'insolation annuelle faible (20-60% entre 7h-17h). La végétation comprend, une formation composée de mangroves et de steppes dans

l'arrière-pays côtier au Nord de Moanda et la réserve de biosphère de Luki (Kisangala *et al.*, 2018). Boma jouit aussi des embruns des vents amenés par les vents en provenance du Sud-Ouest, dont l'humidité est condensée par le courant froid de Benguela.

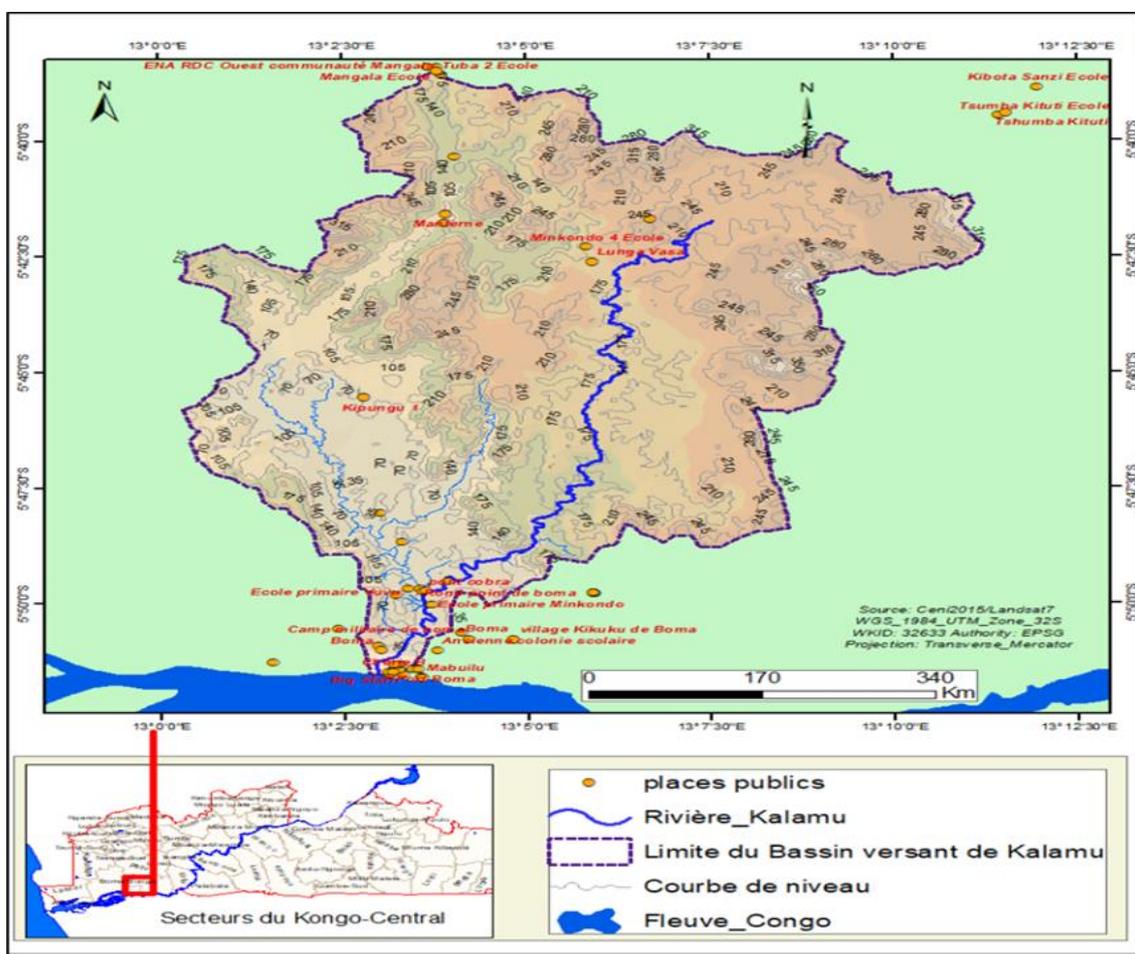


Figure 1 : Bassin versant de la rivière Kalamu à Boma

3.2 Méthodes

Les échantillons pour les analyses physico-chimique et microbiologique des eaux ont été prélevés à l'aide des bouteilles rincées plusieurs fois dans la rivière avant de servir au prélèvement. Après l'échantillonnage, les bouteilles étaient gardées dans un bac chargé de glace. Les échantillons ont été conservés dans des bouteilles en plastiques, identifiées, préalablement stérilisées. Par la suite, les bouteilles ont été conservées au réfrigérateur à une température de 4°C. Le réseau de mesure de la qualité des eaux de la rivière Kalamu à Boma est constitué de 9 sites de contrôle (sites : Intu-popi, Mbangu, Kifua, Sindi, Kabondo, Pont ville, Sinaï, premier bassin et exutoire répartis le long de la rivière. A chaque point d'échantillonnage, les coordonnées géographiques (altitude, longitude, latitude) ont été prises à l'aide d'un GPS Garmin 64 st.

Le choix de ces sites tient compte des multiples usages des eaux aux différents endroits dans le bassin versant (Tableau 1). Deux campagnes de prélèvement ont été

effectuées en 2022 à différentes périodes de l'année : (1) fin de saison pluvieuse, (2) fin de saison sèche on a mesuré *in situ* : le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE) et le TDS (total des solides dissous dans l'eau), ont été réalisées à l'aide de trois appareils: le pH-mètre WTW pH 330 (précision 0.01 unité pH), le conductimètre WTW 315i (précision ± 1 digit), et le TDS mètre.

Les paramètres physico-chimiques généraux (pH, TDS, Conductivité électrique, Oxygène dissous et Turbidité) ont été mesurés *in situ* à l'aide de sondes électrochimiques spécifiques. Les paramètres microbiologiques (Coliformes totaux, Coliformes fécaux et *Escherichia coli*) ont été évalués sur le milieu chromogène Rapid'Ecoli par la méthode d'étalement sur boîte de Pétri à 44,5 °C pendant 24-48 heures dans une étuve thermostatée au laboratoire microbiologique du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K) d'une part et au laboratoire de chimie de la faculté des Sciences et technologies d'autre part. Les données de localisation géographique (shapefiles) ont permis de réaliser la carte du milieu d'étude. Les informations collectées ont été saisies, traitées et analysées par les logiciels informatiques : EpiData 3.0 pour l'encodage et la saisie des données. Microsoft Excel 2016 et SPSS 22 a servi pour le tri à plat, le tri croisé et l'analyse des données. Arcgis 10.8, Qgis 3.18 ont été utilisés pour la conception de la carte du milieu d'étude. Le tableau 1 présente les principaux sites échantillonnés dans le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma.

Tableau 1 : Principaux sites échantillonnés

Code des sites de prélèvement	Latitude Sud	Longitude Est	Code des sites de prélèvement	Latitude Sud	Longitude Est
FSG 202101	5°48'14,25''	13°3'13,83''	FSG 202106	5°49'43,69''	13°3'44,52''
FSG 202102	5°48'19,62''	13°2'41,46''	FSG 202107	5°49'44,22''	13°3'42,80''
FSG 202103	5°51'4,72''	13°3'14,12''	FSG 202108	5°51'22,50''	13°2'56,46''
FSG 202104	5°48'15,23''	13°3'15,09''	FSG 202109	5°49'42,36''	13°3'36,63''
FSG 202105	5°48'44,96''	13°3'44,15''			

Source : Vuni Simbu 2022.

4. Résultats et Discussion

4.1 Résultats

4.1.1 Valeurs du pH

Le pH eau sur l'ensemble des points échantillonnés donne des valeurs allant de 6,5 à 7,5 que ça soit en saison pluvieuse où en saison sèche. L'intervalle respecte les normes fixées par l'OMS (2014) 6,5 à 9,5. La figure 2 montre la configuration du pH des eaux de la rivière Kalamu à Boma. Celui-ci varie peu 6, 87 à 7, 29 pendant la saison pluvieuse 6,82 à 7, 29 en saison sèche résultant sans doute du pouvoir auto épurateur des eaux de la rivière Kalamu, malgré l'injection de divers corps étrangers détergents, hydrocarbures et huiles de lavage des véhicules, motos, baignade et vaisselle. IL est aussi normal que les sites les plus proches des sources de différents affluents (Intu popi, Sindi, Sinai, Kifua, Kabondo, et Mbangu) présentent des pH plus voisins de la neutralité. Le potentiel hydrogène, noté

pH, mesure l'activité chimique des ions hydrogènes en solution. En général, il est sans effet direct sur les consommateurs (WHO, 2011). Cependant, il fait partie des paramètres essentiels de contrôle de la qualité de l'eau. Car, il conditionne un large éventail d'équilibres physico-chimiques entre les gaz dissous (CO₂), les ions carbonates et bicarbonates (Belghiti *et al.*, 2013 ; Akil *et al.*, 2014). Le pH des eaux naturelles est principalement imposé par les équilibres des acides carboniques (Rodier *et al.*, 2009). IL est aussi influencé par la nature du substratum sol, la géologie et l'origine des eaux (Belghiti *et al.*, 2013).

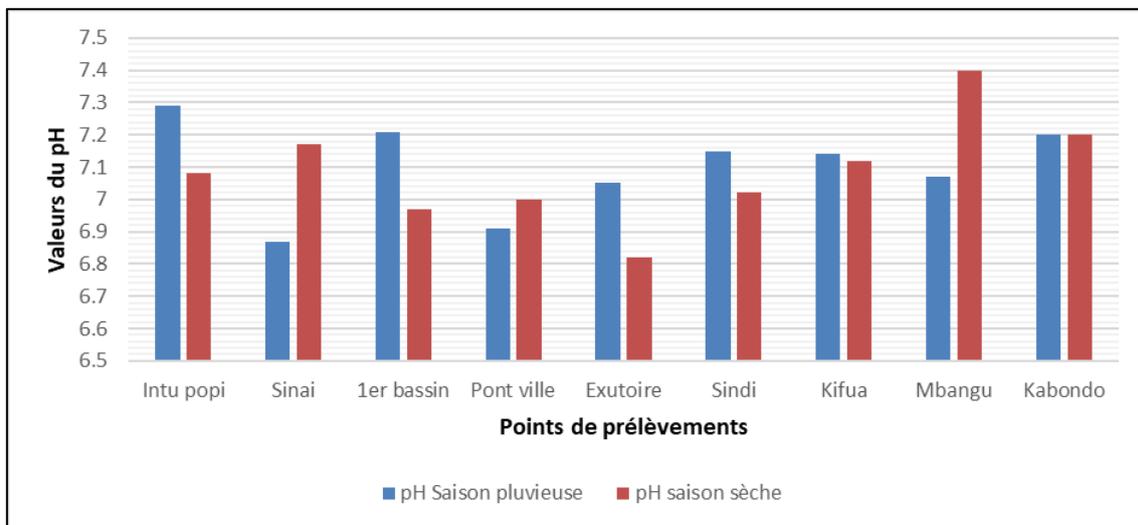


Figure 2 : pH des eaux de rivière Kalamu pendant les saisons pluvieuse et sèche

4.1.2 Valeurs de conductivité électrique

D'après Rodier *et al.* (2009), la conductivité électrique d'une eau est « la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm ». Largement fonction de la température, sa mesure permet d'apprécier le niveau de minéralisation d'une eau (Belghiti *et al.*, 2013 ; Rodier *et al.*, 2009). L'OMS (2000) fixe à 1200 µS/cm comme limite de référence de la conductivité électrique mesurée à 25 °C pour un eau potable. La conductivité d'eau analysée varie entre 59 et 1055 µS/l de l'amont en aval. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/l, norme de l'OMS (2014). Les eaux de Kalamu restent dans les norms de l'OMS (Figure 3).

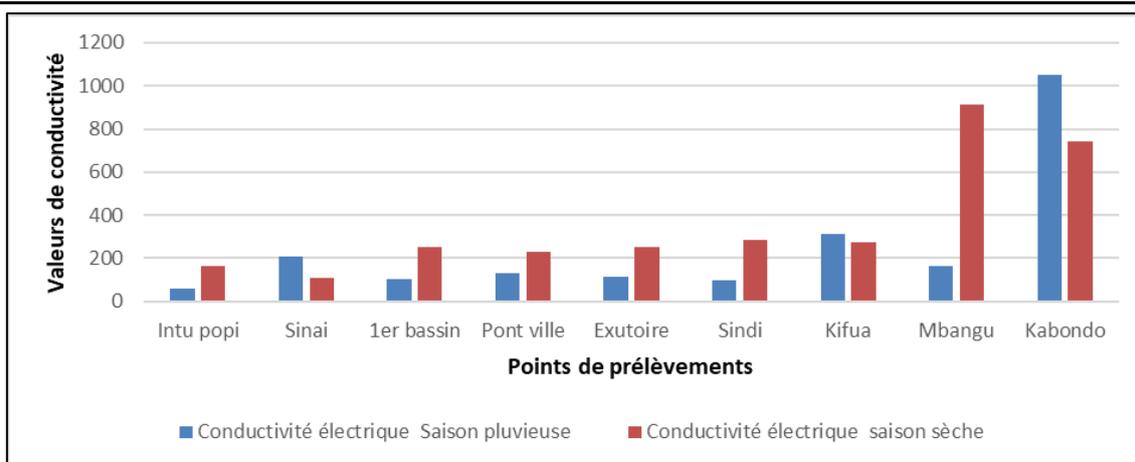


Figure 3 : Conductivité électrique des eaux de la rivière Kalamu pendant les saisons pluvieuse et sèche

4.1.3 Valeurs de TDS

La détermination des sels totaux dissous (TDS) dans une eau potable n'a pas de base fondée sur la santé. Mais leur présence dans l'eau favorise la corrosion et l'incrustation. À teneur élevée, ils sont répréhensibles pour les consommateurs car ils entraînent un goût désagréable de l'eau. Se référant à ce paramètre, une eau est réputée bonne quand sa teneur en TDS est inférieure à 600mg/l (WHO, 2011). Le TDS recommandé par l'OMS d'une eau naturelle est comprise entre 51 et 200 mg/l. Pour la rivière Kalamu à Boma, le TDS contenant entre 29 mg/l et 527 mg/l (Figure 4). Ils restent donc dans la gamme des TDS acceptés par WHO, 2011 et par l'OMS sauf à Mbangu et Kabondo en saison sèche.

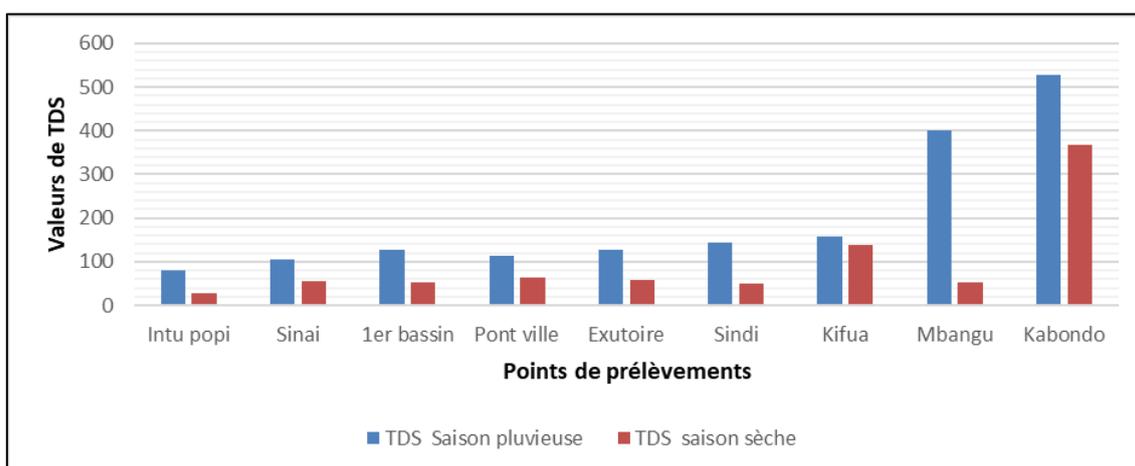


Figure 4 : TDS des eaux de la rivière Kalamu pendant les saisons pluvieuse et sèche

4.1.4 Normes physico-chimiques de qualité de l'eau

Les normes physico-chimiques de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine ne subissent pas trop de variation les unes par rapport aux autres. Ces cadres normatifs visent à fournir des directives scientifiques en termes de concentration maximale en substance chimique admissible en vue de protéger la santé des personnes

des effets nocifs de la contamination des eaux. Pour les paramètres considérés dans ce travail, le tableau 2 présente les concentrations maximales admissibles selon les normes de l’OMS et de l’UE.

Tableau 2 : Concentration maximale admissible dans l’eau destinée à la consommation humaine

Paramètres	Unités	OMS	Directive UE (3)
pH	Unité pH	6.5- 8.5 (1)	6.5-9.5
Conductivité à 20 °C	µS/cm	< 1200 (1)	2 500
Température	°C		25
Couleur vraie	U Pt/Co	< 15 (1)	APC**
Odeur	Seuil		APC
Turbidité	NTU	< 1 (1)	0.5
TDS	mg/l	< 600 (1)	PVG

Note : WHO, 2011 ; 2 WHO, 2006 ; 3 Directive No 98/83/CE du 03/11/1998 et Arrêté du 11/01/2007; * Pas de Valeur Guide; ** Acceptable Pour Consommateur.

4.1.5 Paramètres microbiologiques

Dans la nature, les bactéries se retrouvent dans tous les milieux (eau, air, sol et même dans et sur les êtres vivants). Elles sont des espèces innombrables qui jouent dans la biosphère un rôle géochimique majeur. Elles occupent toutes les niches écologiques et interviennent dans le recyclage des éléments (carbone, oxygène, azote, soufre, etc.), dans la minéralisation de la matière organique (hétérotrophes), dans l’assimilation des éléments minéraux (autotrophes, photosynthèse). Avec l’air et les sols, les eaux font donc partie des éléments qui servent soit de lieu d’hébergement pour les espèces autochtones, soit de canal pour véhiculer en transit les bactéries éliminées par l’homme, les animaux et les plantes (Rodier *et al.*, 2009). Les fèces humaines ou animales sont donc une importante source de pollution à cause de leur charge microbienne (bactéries, virus, protozoaires et d’helminthes pathogènes) (OMS, 2004 ; OMS, 2013). Le tableau 3 illustre quelques-uns avec les maladies et symptômes associés.

4.1.6 Valeurs de coliformes totaux

Selon Tallon *et al.* (2005) cité par Verhille (2013), la présence des coliformes totaux dans une eau ne témoigne pas exclusivement d’une contamination fécale. Les progrès scientifiques ont montré qu’ils ne sont pas forcément retrouvés au niveau de l’intestin de l’homme ou des animaux homéothermes. Ils peuvent aussi se retrouver dans l’environnement. Leur détermination dans l’eau potable est indicatrice d’une détérioration de la qualité, car ils constituent non seulement une présomption de la présence des matières fécales d’origine humaine ou animale mais aussi une présomption de la présence des germes de micro-organismes pathogènes (Payment et Hartemann, 1998 ; Hébert et Légaré, 2000 ; Chan *et al.*, 2007). L’analyse microbiologique de coliformes totaux des eaux de la rivière Kalamu contenant entre 3000 à 70000 mg/l, comme le montre

la figure 5. Les normes internationales ne tolèrent pas leur présence dans les eaux destinées à la boisson (Tableau 3).

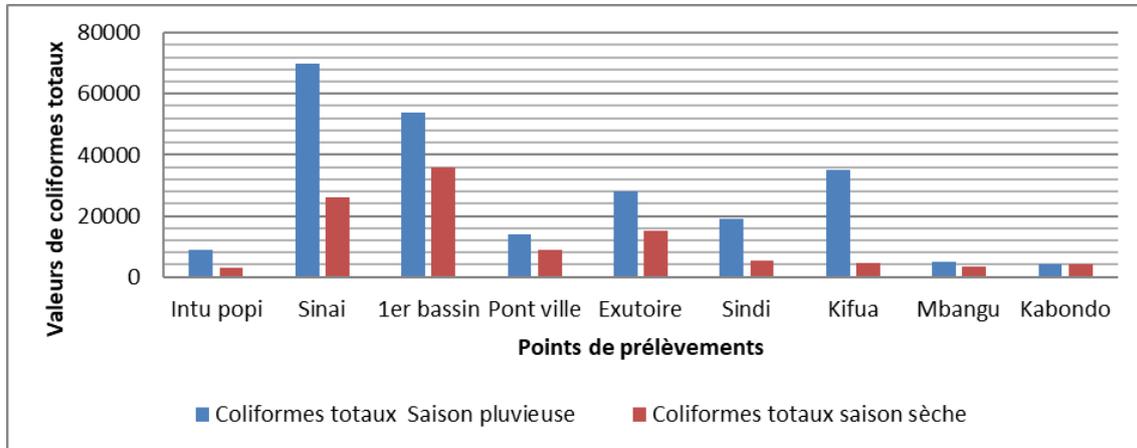


Figure 5: Coliformes totaux (UFC/100mg/l) dans les eaux de la rivière Kalamu pendant les saisons pluvieuse et sèche

4.1.7 Valeurs de coliformes fécaux

Appelés aussi coliformes thermo-tolérants, les coliformes fécaux correspondent aux coliformes qui présentent les mêmes propriétés après incubation à la température de 44 °C (Rodier *et al.*, 2009). Ils sont des bio-indicateurs de contamination fécale au même titre que les streptocoques fécaux et les Clostridium sulfito-réducteurs (Nola *et al.*, 1998). Cependant, Verhille (2013) rapporte que la détermination des coliformes fécaux dans une eau ne fournit pas trop de spécificité quant à l'origine de la contamination fécale de l'eau. Les coliformes fécaux des eaux de la rivière Kalamu variaient entre 1400 et 85000 mg/l, les multiples résultats de différentes analyses effectuées sont présentés dans les figures (Figure 6).

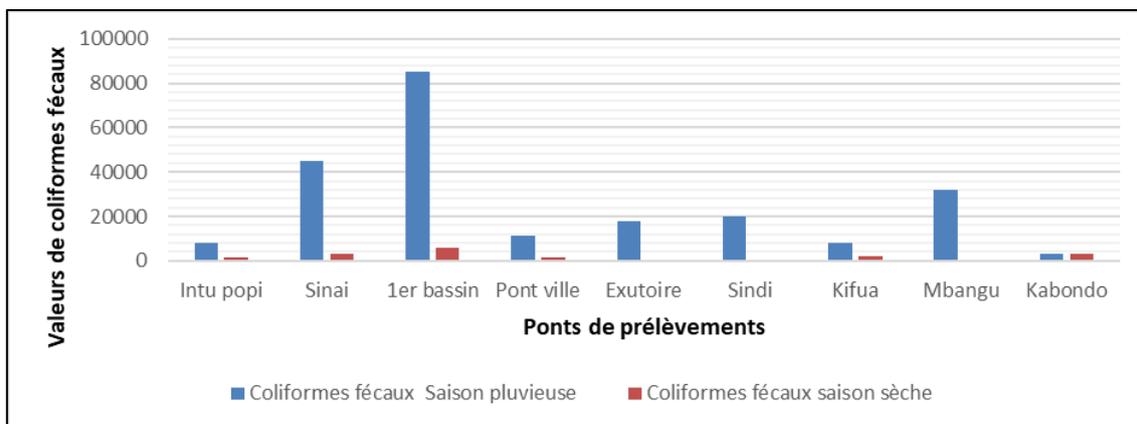


Figure 6 : Coliformes fécaux (UFC/100mg/l) dans les eaux de la rivière Kalamu à Boma pendant les saisons pluvieuse et sèche

4.1.8 Valeurs d'Escherichia Coli

Caractérisé par les enzymes *B*-galactonidase et *B*-gluconidase, *Escherichia coli* correspond à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane (Emmanuel, 2004). Il est abondant dans les fèces humaines et animales jusqu'à des concentrations de 10⁹ par gramme de matières sèches. Sa présence est l'indicateur le plus précis de la contamination par les matières fécales qui contiennent des micro-organismes pathogènes, comme des bactéries, des virus ou des parasites (El Haissoufi *et al.*, 2011). Selon Emmanuel. (2004), il est aussi retrouvé dans les eaux d'égout, les effluents traités, ainsi que dans toutes les eaux naturelles et les sols victimes d'une contamination fécale récente, qu'elle soit d'origine humaine, animale ou agricole. L'analyse microbiologique d'*Escherichia coli* des eaux de la rivière Kalamu est représentée par la Figure 7.

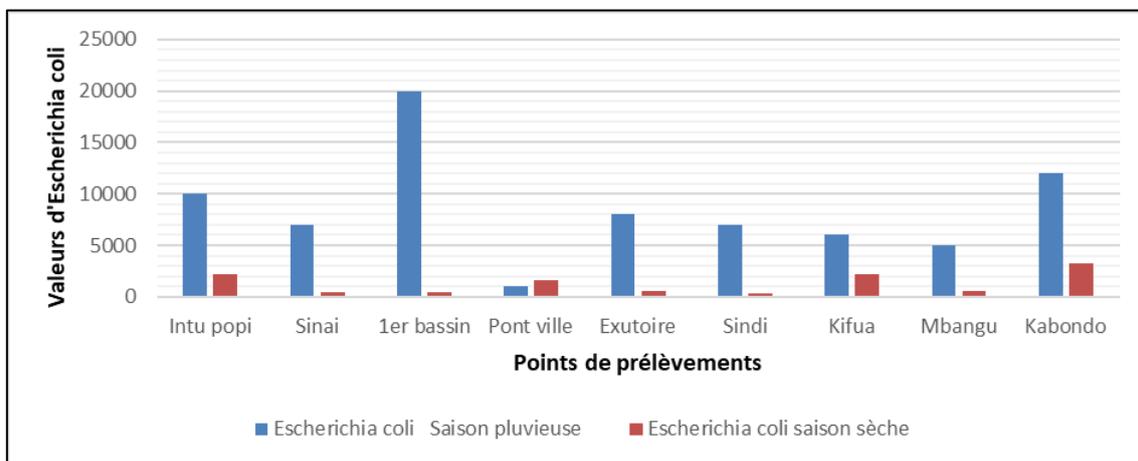


Figure 7 : *Escherichia coli* (UFC/100mg/l) dans les eaux de la rivière Kalamu à Boma pendant les saisons pluvieuse et sèche

4.1.9 Normes de qualité microbiologique

Pour les paramètres microbiologiques sur lesquels portent la présente étude, les normes admises à l'échelle internationale sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Normes microbiologiques relatives aux paramètres étudiés

Valeurs paramétriques			Unité
Paramètres	Norme OMS	Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 de l'UE	
Coliformes fécaux	0	0	CFU/100 ml
Coliformes totaux	0	0	CFU/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	0	0	CFU/100 ml
Numération des germes			CFU/100 ml

4.1.10 Maladies d'origines hydriques

Les maladies d'origines hydriques résultent d'un contact direct avec l'eau de mauvaise qualité ou contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques. La figure 8 montre le profil des maladies d'origines hydriques enregistrées à Boma. Il s'agit essentiellement des maladies diarrhéiques et de la fièvre typhoïde.

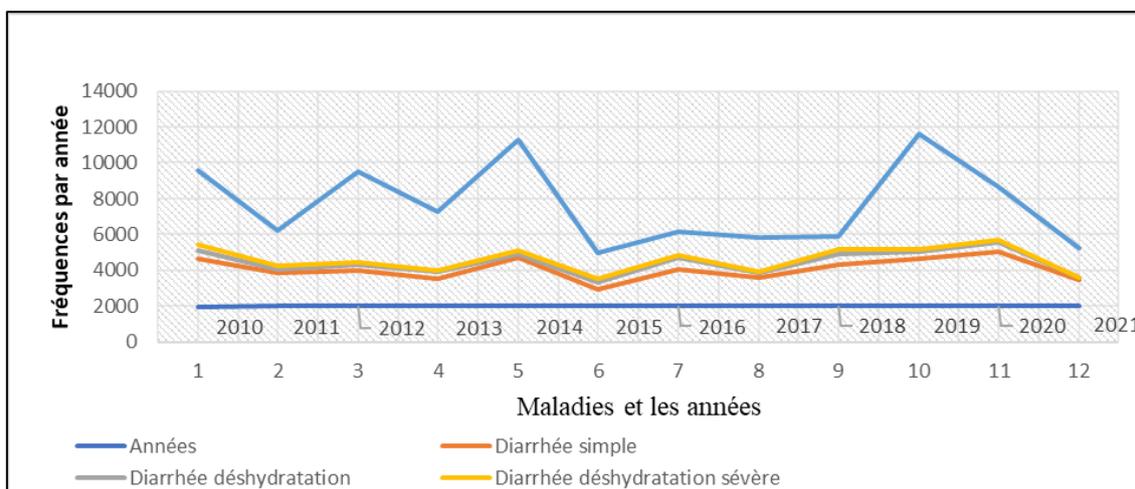


Figure 8 : Profil des maladies d'origines hydriques à Boma

5. Discussion

Au regard des résultats obtenus, nous remarquons, que l'eau de la rivière Kalamu est polluée. En comparant les résultats obtenus entre deux saisons, il ressort que pendant la saison des pluies celle-ci entraîne la plus grande quantité des matières fécales dans la rivière. Le lessivage urbain semble en être la principale cause. A Boma, la rivière Kalamu est considérée comme une poubelle de tous les déchets produits dans la ville (Vuni, *et al.*, 2022). L'absence d'une politique d'assainissement, fait que les populations riveraines déversent les déchets solides et liquides sans aucun traitement dans le cours d'eau. Les modes d'évacuations les plus nuisibles ou les plus polluants sont le rejet direct dans la rivière (43%), dans la rue (12%), seulement 11% font le compostage des déchets ménagers, 10% pratiquent l'incinération sur place ou dans les caniveaux (9%), 8% pratiquent l'enfouissement sur place, et enfin 7% déposent les déchets dans les champs. Ces ordures y pourrissent un peu partout directement et polluent la rivière, soit se décomposent aux endroits où ils nuisent à la population par une pollution visuelle (Vuni, 2023).

Ces types de nuisances ne semblent plus incommodes que l'étranger et non les résidents. Les produits de la putréfaction seront dans tous les cas drainés par le ruissellement dans la rivière Kalamu. Ces résultats ne sont pas de même ordre de grandeur que ceux issus des investigations menées par Wanga (2014), souligne que 81,3% des parcelles dans la ville de Boma jettent leurs ordures soit dans les torrents, et que 63,8% des parcelles disposeraient des toilettes contre 36,2% qui n'en disposeraient pas. On peut ainsi comprendre le nombre croissant des coliformes fécaux présents dans la rivière

Kalamu, qui draine une grande partie du bassin versant habité. On s'imagine que les matières fécales de ses 6,2% des parcelles se retrouvent dans la rivière Kalamu. Les déchets solides récoltés au niveau des ménages finissent dans la rivière Kalamu ; principal cours d'eau de cette ville considérée comme une décharge sauvage par la population riveraine. Les résultats de nos analyses des paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau brute indiquent clairement que les paramètres mesurés sont encore globalement au-delà des normes environnementales. En effet, l'analyse microbiologique des échantillons d'eau prélevés dans le bassin versant de la rivière Kalamu révèle encore la présence de nombreux germes infectieux. Comparée aux résultats des analyses réalisées par Wanga. (2014), on observe dans l'ensemble qu'il n'y a pas eu un changement positif notable de la qualité de l'eau utilisée par la population.

Les acteurs du bassin versant utilisent une eau de mauvaise qualité, impropre à la consommation humaine. Cette pollution se manifeste aussi par la réduction du tirant d'eau de la rivière Kalamu par des déchets ménagers rejetés dans le lit, dans les décharges non contrôlées et dans une moindre mesure l'ensablement) ce qui contribue à l'occurrence des épisodes des inondations dont est victime la population riveraine et par les perturbations biochimique diffuses des eaux. Le niveau de menace de l'écosystème du bassin versant de rivière Kalamu n'est pas facile à quantifier car les sources de pollution anthropiques nombreuses sont à la fois ponctuelles et diffuses (Vuni *et al.*, 2022 ; Wanga *et al.*, 20214, 2015). Wanga *et al.*, (2015), avaient réalisé une étude sur la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Kalamu de Boma. Les résultats ont montrés les caractéristiques suivantes, couleur (93,83 Pt Co/l), température (29,95°C), pH (7,34), la conductivité (72,42µs/l), turbidité (48,33 NTU), TDS (46,4 mg/l), les matières en suspension (45,5mg/l), oxygène dissous (6,47mg/l), saturation en O₂ (84,58mg/l), NH₄⁺ (0,16mg/l), Ca²⁺ (214mg/l), le Mg²⁺(106,11mg/l), le Pb²⁺ (70,41mg/l), le Cd²⁺(20,49 mg/l), le Cl⁻ (58,9mg/l), le Al³⁺(3,03mg/l), la DBO₃ (18,5mg d'O₂/l), la DCO (61,04mg/l), le PO₄³⁻ (76,28mg/l), le NO₃⁻ (111,44mg/l) et le SO₄²⁻ (7,61mg/l).

Plusieurs études ont été déjà réalisées sur la qualité de l'eau de boisson surtout dans la région métropolitaine de Port-au-Prince (RMPP) ou dans d'autres villes, en Haïti et les risques sanitaires qui lui sont liés, province. Brasseur *et al.*, (2001), Emmanuel *et Lindskog* (2002), Angerville *et al.*, (2004), Bras *et al.*, (2007), Balthazard-Accou (2011), Ahoussi *et al.* (2013) ont tous signalé des concentrations importantes en substances physico-chimiques ainsi que des germes de micro-organismes pathogènes dans l'eau destinée à la consommation humaine. Selon Emmanuel *et al.* (2004), selon laquelle toutes activités humaines faisant appel à la mobilisation des ressources de la nature entraînent la production de déchets (solides et liquides) et des effluents gazeux capables d'y provoquer un transfert de polluants. Ces sources de pollution peuvent être à l'origine d'une détérioration grandissante de la qualité des ressources en eau quand la protection du milieu récepteur n'est pas garantie (Fifi, 2010 ; Wanélus, 2016). Les risques de propagation des maladies d'origine hydrique telles que le choléra, les hépatites, la dysenterie, et toutes autres maladies dont les vecteurs vivent totalement pendant un

stade de leurs développements des moustiques deviennent plus importants (Brangeon, 2015).

La contamination microbienne est de loin le plus grand danger pour l'eau. En conséquence l'amélioration de la qualité des eaux dont viser comme le souligne (Rosillon, 2007) à maîtriser les différents types de pollutions à leur source afin de restaurer les potentialités des milieux aquatiques et de protéger les ressources en eaux superficielles et souterraines. En Côte d'Ivoire, Makoutode *et al.*, (1999), au Bénin, Nola *et al.*, (1998), au Cameroun, Orelie Frantzy (2017), en Haïti, ont tous montré des cas de contamination des eaux par *E. coli*, *Salmonella spp*, les coliformes totaux et fécaux ainsi que les streptocoques fécaux, tant en milieu rural qu'en milieu urbain.

6. Conclusion

A Boma, les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux du bassin versant de la rivière Kalamu sont de qualité acceptable pour des usages variés, la quasi-totalité de paramètres tels que le pH, la Conductivité électrique et le TDS respectent la limite prescrite par la norme OMS. Par contre, microbiologiques les analyses ont mis en évidence une forte présence de coliformes totaux, fécaux et *Escherichia coli*, rendant même sa consommation dangereuse pour la santé des acteurs comme eau de boisson et baignade, sont aussi à la base des maladies d'origines hydriques telles que la diarrhée déshydratante, diarrhée simple, diarrhée avec déshydratation sévère, fièvre typhoïde. Sur le plan environnemental, ce bassin versant a connu une forte modification écologique à cause des activités anthropiques. La gestion des déchets constitue en effet un danger sanitaire et environnemental pour les riverains. Les pouvoirs publics sont dépassés par l'ampleur de la problématique, laissant la population subir les conséquences de cette mauvaise gestion des déchets. La séparation ou le tri des déchets est le début d'une gestion avisée dans la ville de Boma. L'adoption du modèle contrat de rivière basé sur les acteurs locaux concernés du bassin versant de la rivière Kalamu a été adoptée à l'unanimité. En effet, vu les calamités causées par les activités anthropiques dans le bassin versant, plusieurs voix se sont levées pour défendre la rivière et son bassin versant.

Conflict of Interest Statement

The authors declare no conflicts of interest.

About the Author(s)

Vuni Simbu Alexis, Assistant à l'Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, il est détenteur d'un diplôme de master en Aménagement du Territoire et Urbanisme de l'Université de Kinshasa. Encadreur des étudiants à l'Unité de recherche Hydro-Géo-Energie de l'Université de Kinshasa en R.D. Congo.

Aloni Komanda Jules, Professeur Emérite à l'Université de Kinshasa, Recteur honoraire à l'Université Lubumbashi, Doyen honoraire à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Kongo en R.D. Congo.

Mabilia Mulomba Philippe, Assistant au Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K), Université de Kinshasa en R.D. Congo.

Kisangala Muke Modeste, Professeur full, Vice-doyen honoraire en charge de l'enseignement et Doyen à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Kinshasa en R.D. Congo.

Lelo Nzuzi Francis, Professeur ordinaire et enseignant à l'Ecole Régionale Postuniversitaire et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIPT) de l'Université de Kinshasa en R.D. Congo.

Nzau Umba-di-Mbudi Clement, Doyen à la Faculté Polytechnique, Université d'état Président Joseph Kasa-Vubu et Coordonnateur de l'Unité de Recherche Géo-Hydro-Energie, Université de Kinshasa en R.D. Congo.

Références bibliographiques

- Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro B., Biemi J. 2013. Etude hydrochimique et microbiologique de l'ouest montagneux de la Cote d'Ivoire : Cas du village de Mangouin Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). 17 p.
- Akil A., Hassan T., Fatima E. H., Lahcen B., Abderrahim L. 2014. Etude de la qualité physicochimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc. 11 p.
- Angerville R., Rony F. J., Balthazard-Accou K., Joseph O., Emmanuel E. et Perrodin Y., 2004. Assessment of human exposures to lead in drinking water. 8 p.
- Balthazard-Accou, K., 2011. Contamination microbiologique des eaux souterraines de la ville des Cayes, Haïti. Evaluation des risques pour la santé des consommateurs. Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne & Université Quisqueya, 208 p.
- Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R. 2013. Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe plio-quadernaire de la région de Meknès (Maroc). 16 p.
- Brangeon S., 2015. La gestion des déchets des acteurs de l'aide. Etude de cas : Haïti. CEFREPADE. Observatoire du groupe URD en Haïti. 44 p.
- Bras A., Emmanuel E., Obicson L., Brasseur P., Pape J. W. et Raccurt C. P. 2007. Évaluation du risque biologique dû à *Cryptosporidium* sp présent dans l'eau de boisson à Port-au-Prince (Haïti). 10 p.
- Brasseur P., Eyma E., LI X., Verdier R. I., Agnamey P., Liautaud B, Dei CAS E., Pape J. W., & Raccurt C., 2001. Circulation des oocystes de *Cryptosporidium* dans les eaux de surface et de distribution par adduction publique à Port-au-Prince, Haïti. In : Actes du Colloque International réalisé à Port-au-Prince les 26, 27, 28 juin 2002. Pp. 173-176.
- Chan C. L., Zalifah M. K. et Norrakiah A. S. 2007. Microbiological and physicochemical quality of drinking water. 8 p.

- El Haissoufi H. Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Ouali Lalami A. 2011. Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc. 32 p.
- Emmanuel E. 2004. Évaluation des risques sanitaires et écotoxicologiques liés aux effluents hospitaliers. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. 246 p.
- Emmanuel E., Fanfan N.P., Louis R. et Michel G. A., 2002. Détermination de la dose optimale dans l'eau destinée à la consommation humaine de la région hydrographique Centre-Sud de la République d'Haïti. Cahier de santé 12, (2) : pp. 241-245.
- Emmanuel E. et Landskog, P., (2002). Regards sur la situation des ressources en eau de la République d'Haïti. In : Actes du Colloque International réalisé à Port-au-Prince les 26, 27,28 juin. pp 32-54.
- Fifi U. 2010. Impacts des eaux pluviales urbaines sur les eaux souterraines dans les pays en développement – mécanismes de transfert des métaux lourds à travers un sol modèle de Port-au-Prince, Haïti. Thèse de doctorat. 260 p.
- Hébert S. et Légaré S. 2000. Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau. Direction de suivi de l'état de l'environnement. Ministère de l'Environnement du Québec. 48 p.
- Kahoul M. et Touhami M. 2014. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie).10 p.
- Kouam Kenmogne G-R. 2013. Vers une gestion rationnelle de l'eau dans une situation complexe d'urbanisation anarchique dans un pays en développement : Cas du bassin versant de l'Abiergue (Yaoundé-Cameroun). Thèse de doctorat. Université de Liège, 272 p.
- Makoutode M., Assani A. K., Ouendo E. M., Agueh V. D., Diallo P. 1999. Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand Popo.7 p.
- Nola M., Njine T., Monkiedje A., Foko S. V., Djuikom E., Talliez R. 1998. Qualité bactériologique des eaux des sources et des puits de Yaoundé (Cameroun). 7 p.
- Odoulami L. 2009. Problématique de l'eau potable et de la santé humaine dans la ville de Cotonou (République du Benin). Thèse de doctorat. Université d'Abomey-Calavi. 230 p.
- Orelien, Frantzy, 2017. Etude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable (Anse-a-Veau), Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement, Université de Liège, Faculté des Sciences – Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, 85 p.
- OMS., 2014. Preventing Diarrhea through Better water Sanitation and Hygiene: Exposures and impacts in Low-and Middle-Income Countries, Genève, Suisse, WHO

- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). 2004. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Troisième Edition. Volume 1. Recommandations. Genève. 110 p.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). 2000. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Critères d'hygiène et documentation. 2nd édition. Genève, 1050 p.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). 2013. Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture. Volume IV. 32 p.
- Payment P. et Hartemann P. 1998. Les contaminants de l'eau et leurs effets sur la santé. 13 p.
- Rodier J., Legude B., Merlet N. et coll. 2009. L'analyse de l'eau. 9th Edition. Dunod. 1579p.
- 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.
- Verhille S. 2013. Les indicateurs microbiens dans l'évaluation de l'eau potable : interpréter les résultats de laboratoire et comprendre leur signification pour la santé publique. Centre de collaboration nationale en santé environnementale. 13 p.
- Vuni Simbu A., Aloni Komanda J., Lelo Nzuzi F. et 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), pp. 195-213.
- Vuni Simbu A., Pangu Sanghy S., Mabilia Mabilia P., Lelo Nzuzi F., Koy Kasongo R., Aloni Komanda J., Malaisse F. et Nzau Umba-di-Mbudi C., 2022. Eléments d'appréciation d'un bassin versant en vue d'un contrat de rivière : Cas de la rivière Kalamu à Boma (Kongo Central, R.D. Congo). *Geo-Eco-Trop*, 46 (1): pp. 43-62.
- Vuni Simbu A., 2023. Diagnostic et perspectives d'aménagement fluvial du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma en vue d'un contrat de rivière, Mémoire de master, Université de Kinshasa, 90 p.
- Vuni Simbu A., Kisangala Muke M., Puela Puela F., Lelo Nzuzi F., Koy Kasongo R., Malaisse F., Aloni Komanda J. et 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 Kalamu à Boma (Kongo central, R.D. Congo). *Geo-Eco-Trop*, 46 (2) : pp. 203-216.
- Wanga M., Musibono E., Mpiana T., Mafuana F., Kiza J. et 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): pp. 14-20.
- Wanga M., Musibono E., Mpiana T., Mafuana F., Kiza J. et 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, pp. 56-57.

- Wanelus F., 2016. Caractérisation physico-chimique de l'eau destinée à la consommation humaine dans la Région Métropolitaine de Port-au-Prince, Haïti. Travail de Fin d'Etudes. 64 p.
- WHO (World Health Organization). 2006. Guidelines for drinking-water quality. First addendum to third edition. Volume 1. Recommendations. 595p. WHO (World Health Organization). 2011. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. Geneva. 564 p.

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/)