

Évaluation Des Services Écosystémiques Urbains De La Rivière Kalamu A Boma (RDC) : Entre Visibilité Utilitariste Et Déficit Critique De Régulation

[Assessment Of Urban Ecosystem Services Of The Kalamu River In Boma (DRC): Between Utilitarian Visibility And A Critical Deficit In Regulation]

Faustin Frédéric MANANGA NGOMA^{1,4}, Joachim UMBA di M'BALU², Léonard Marquis NLANDU NLANDU¹, Gauthier MAMBUKU NGOMA⁴, Laetitia NKANKA EYENGA³, Gédéon PHAMBU MVUMBA⁴, Augustin NZUNDU MBATI¹, Claudine PHOBA BUTSHIANGA⁴, André BUNGA LUZAYA¹

¹Université Pédagogique Nationale, École de Télécommunication et de Télédétection Spatiale, Département des Eaux et Forêts (UPN/ETS), B.P.8815/Kinshasa-Ngaliema, RDC

²Department of Veterinary Medicine, National Pedagogical University (UPN) & Loyola University of Congo (ULC)

³Université de Kinshasa, Département d'Agronomie et Environnement

⁴Département d'agronomie et Environnement, Université de Boma (UNIBO)

Auteur correspondant : Faustin Frédéric MANANGA NGOMA. E-mail : freddymananga54@gmail.com
B.P : 132 BOMA ; Tél. : +243815140651



Résumé : Introduction : En milieu urbain africain, l'invisibilité des fonctions régulatrices de l'hydrosystème accentue leur vulnérabilité face à la pression anthropique. Cette étude analyse cette dynamique au sein du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma (Kongo Central, RDC), un cours d'eau soumis à une urbanisation non planifiée, à la prolifération de décharges de berges et à une déforestation amont intensive.

Méthodes : Une approche multicritère a été déployée, combinant des diagnostics hydro-qualitatifs *in situ* (mesures de la conductivité électrique), une caractérisation gravimétrique des poubelles sauvages et une évaluation stratégique par la méthode des matrices de capacité auprès des 35 experts locaux pour quantifier le budget des services écosystémiques visibles et invisibles.

Résultats : L'évaluation met en évidence une exploitation utilitariste immédiate des services visibles (extraction de sable, maraîchage, blanchisserie linéaire) au détriment des services invisibles. L'approche matricielle révèle un déficit écosystémique critique évalué à -5 pour la régulation des crues dans la basse ville. Ce dysfonctionnement majeur est imputable à un verrou hydraulique par ensablement et accumulation de macro-déchets solides, provoquant des inondations catastrophiques et récurrentes. Parallèlement, le service d'auto-épuration est saturé, comme l'indiquent les fortes fluctuations saisonnières de la conductivité électrique.

Discussion et Conclusion : La requalification des fonctions invisibles de la rivière Kalamu s'impose comme un préalable scientifique indispensable à l'aménagement urbain. La transition vers une trajectoire durable nécessite la rupture de ce verrou hydraulique par la mise en œuvre d'un Contrat de rivière participatif fondé sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE).

Mots-clés : Services écosystémiques ; Gestion intégrée des ressources en eau ; Inondation urbaine ; Déchet solide ; Bassin versant ; République démocratique du Congo.

Abstract: Background: In urban African contexts, the invisibility of regulatory functions in hydrosystems heightens their vulnerability to anthropogenic pressure. This study analyzes this dynamic within the Kalamu River watershed in Boma (Kongo Central, DRC), a watercourse subject to unplanned urbanization, proliferating bankside dumps, and intensive upstream deforestation.

Methods: A multi-criteria approach was deployed, combining *in situ* hydro-qualitative diagnostics (electrical conductivity measurements), gravimetric characterization of illegal dumpsites, and a strategic assessment using the Burkhard ecosystem service capacity matrix method with a panel of 35 local experts to quantify the budget of visible and invisible ecosystem services.

Results: The assessment highlights an immediate, utilitarian exploitation of visible services (sand extraction, market gardening, riverbank laundry) at the expense of invisible ones. The matrix approach reveals a critical ecosystem deficit scored at -5 for flood regulation in the lower city. This major dysfunction is caused by a hydraulic bottleneck driven by siltation and solid macro-waste accumulation, triggering catastrophic and recurrent urban floods. Concurrently, the river's self-purification service is overwhelmed, as evidenced by sharp seasonal fluctuations in electrical conductivity.

Discussion & Conclusion: Re-evaluating the invisible functions of the Kalamu River is a prerequisite for sustainable urban planning. Navigating towards a resilient pathway demands breaking this hydraulic bottleneck through the implementation of a participatory River Contract rooted in Integrated Water Resources Management (IWRM).

Keywords: Ecosystem services ; Integrated water resources management ; Urban flooding ; Solid waste ; Watersheds ; Democratic Republic of the Congo.

1. Introduction

En milieu urbain subsaharien, les hydrosystèmes fluviaux subissent des mutations biophysiques accélérées sous l'effet de trajectoires démographiques et spatiales non régulées (Nedkov & Burkhard, 2012). La rivière Kalamu, qui traverse la ville historique de Boma dans la province du Kongo Central (République démocratique du Congo), incarne de manière critique ce paradigme de vulnérabilité (Wanga et al., 2015). Longtemps valorisé pour ses potentialités socio-économiques, ce cours d'eau fait aujourd'hui face à une haute pression anthropique multidimensionnelle (Mavangu et al., 2025). En amont du bassin versant, des dynamiques de déforestation intensive ; dictées par l'agriculture sur brûlis, la production de charbon de bois (*Makala*) et la cuisson de briques à dobes ; ceux-ci altèrent profondément la dynamique hydro-sédimentaire globale du réseau (Vuni Simbu et al., 2025). En aval, passant par les communes de Kalamu et Nzadi, l'étalement urbain effréné s'accompagne d'un déficit chronique d'infrastructures de salubrité publique, se matérialisant par la prolifération de décharges sauvages sur les berges (Mananga Ngoma et al., 2025). La caractérisation de ces poubelles sauvages met en évidence une accumulation massive de macro-déchets solides qui obstruent les collecteurs naturels et provoquent un phénomène de verrou hydraulique par ensablement (Mananga Ngoma et al., 2025). Ce dysfonctionnement majeur du drainage engendre une dégradation qualitative sévère, marquée par de fortes fluctuations saisonnières de la conductivité électrique (Mananga Ngoma et al., 2026b), tout en exacerbant la récurrence d'inondations urbaines meurtrières dans la ville basse (Vuni Simbu et al., 2025).

Pour appréhender la complexité de cet écosystème au-delà de sa seule dimension de risque naturel, le paradigme des services écosystémiques (SE), formalisé par le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), offre une grille de lecture heuristique pour objectiver les bénéfices matériels et immatériels qu'une communauté tire d'un hydrosystème. Toutefois, en contexte de précarité urbaine, les évaluations et les perceptions locales se limitent majoritairement aux contributions dites « visibles » (services d'approvisionnement et culturels), telles que l'extraction sédimentaire de sable et gravier, le maraîchage de subsistance ou les usages domestiques linéaires. Cette vision utilitariste immédiate occulte la contribution fondamentale des fonctions écologiques dites « invisibles » (services de régulation et de soutien). Ces processus sous-jacents, qui incluent la dynamique d'auto-épuration biogéochimique, le maintien de corridors microclimatiques ou la fonction tampon de régulation des crues face aux fluctuations hydro-dynamiques du fleuve Congo, garantissent pourtant la viabilité environnementale à long terme de la ville (Nedkov & Burkhard, 2012).

À Boma, l'application de matrices de capacité met en lumière un déficit écosystémique critique de -5, révélant un déséquilibre profond entre l'offre biophysique et la demande sociale (Mananga Ngoma et al., 2026a). La surexploitation des collines en amont

fragilise les services de régulation indispensables à l'aval, posant ainsi le problème central de la durabilité de cet hydrosystème (Mananga Ngoma et al., 2026a).

Dans ce contexte, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer de manière systémique la valeur écologique et socio-économique de la rivière Kalamu à Boma, en mettant en évidence le déséquilibre entre l'exploitation immédiate de ses ressources et la dégradation de ses fonctions régulatrices invisibles (Mananga Ngoma et al., 2026a). Spécifiquement, il s'agit de:

1. **Catégoriser** les services écosystémiques visibles et invisibles de la rivière afin d'établir un diagnostic global ;
2. **Quantifier le déficit écosystémique urbain** à l'aide de l'approche matricielle pour caractériser la rupture d'équilibre hydro-environnementale ;
3. **Formuler des outils de gouvernance environnementale** adaptés, permettant de poser les bases scientifiques d'un Contrat de rivière et d'une Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) participative au Kongo Central).

2. Matériel et Méthodes

2.1. Description du milieu d'étude

2.1.1. Localisation géographique et limites administratives

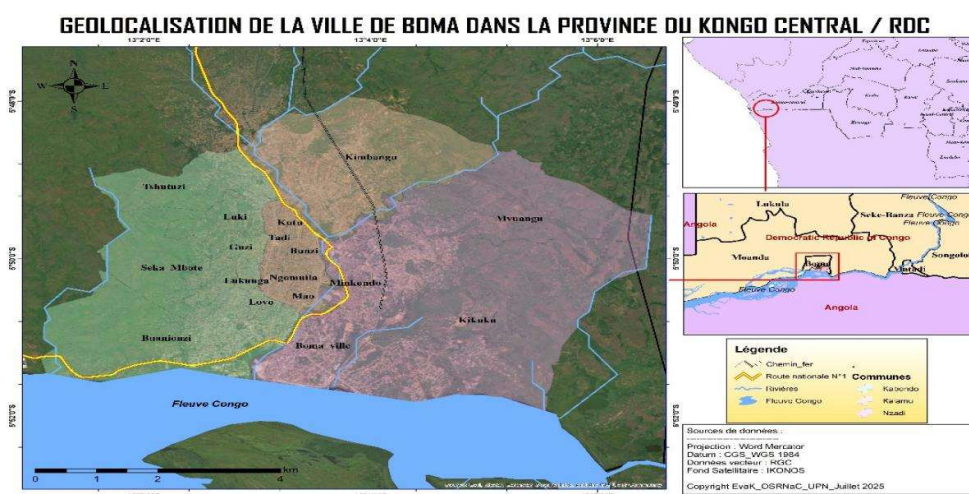


Figure n°2 : la présentation géographique de la ville de Boma (F.F. Mananga et al. 2026)

Le cadre spatial de cette recherche est le bassin versant de la rivière Kalamu, un hydrosystème urbain et périurbain majeur situé dans la ville de Boma, province du Kongo Central en République Démocratique du Congo. Géographiquement, la zone d'étude est comprise entre la latitude 5°47' et 5°51' Sud, et la longitude 13°02' et 13°05' Est. Sur le plan administratif, la rivière Kalamu traverse de manière longitudinale le tissu urbain de Boma, drainant spécifiquement les communes de Kalamu et de Nzadi, avant de jeter ses eaux dans le fleuve Congo au niveau de la basse ville (Mananga Ngoma et al., 2026a). Ce continuum amont-aval traverse des zones à forte hétérogénéité anthropique, allant de secteurs ruraux et forestiers en amont à des quartiers à très forte densité démographique et commerciale en aval.

2.1.2. Climat, relief et hydrographie

Le milieu d'étude est régi par un climat tropical de type Sud-Soudanien à saison sèche marquée (Aw4 selon la classification de Köppen), caractérisé par l'alternance d'une saison des pluies s'étendant d'octobre à mai et d'une saison sèche allant de juin à septembre. Les précipitations moyennes annuelles alimentent un réseau hydrographique hautement réactif.

La topographie du bassin versant est marquée par un contraste morphologique sévère entre la haute ville, caractérisée par un relief de collines aux pentes abruptes soumis à une érosion intense, et la basse ville, qui constitue une plaine alluviale de faible altitude sujette à l'accumulation sédimentaire. Ce profil longitudinal critique favorise l'accélération des eaux de ruissellement depuis l'amont déboisé, lesquelles convergent rapidement vers l'aval urbain. Lorsque les crues de la rivière coïncident avec les hautes eaux ou les remontées hydrodynamiques du fleuve Congo, l'exutoire subit un effet d'encombrement qui paralyse l'évacuation des eaux (Vuni Simbu et al., 2025).

2.1.3. Contexte socio-environnemental et pressions anthropiques

L'occupation des sols dans le bassin en étude reflète les crises environnementales des villes moyennes d'Afrique subsaharienne. L'amont subit une déforestation agressive liée à l'agriculture sur brûlis et à la production de charbon de bois (*Makala et bois de chauffages*), dénudant les têtes de source et amplifiant le transport solide (Vuni Simbu et al., 2025). En aval, l'étalement urbain non planifié a colonisé le lit majeur de la rivière. En raison de l'absence d'un système formel de gestion des déchets ménagers à Boma, les berges de cette rivière sont devenues le réceptacle de nombreuses décharges sauvages (Mananga Ngoma et al., 2025). Ces poubelles sauvages, composées majoritairement de macro-déchets plastiques et organiques, obstruent le lit mineur. Ce stock sédimentaire et anthropique engendre un verrou hydraulique par ensablement, réduisant drastiquement la section mouillée du cours d'eau et provoquant des inondations catastrophiques et récurrentes dans la plaine urbaine (Mananga Ngoma et al., 2025 ; Mananga Ngoma et al., 2026a).

2.2. Approche méthodologique et collecte des données

Pour répondre aux objectifs de cette étude, une approche multi-critères combinant des investigations hydro-qualitatives sur le terrain et une évaluation stratégique par les matrices de capacité a été déployée.

2.2.1. Diagnostic hydro-qualitatif et caractérisation des pressions anthropiques

Le suivi de la dégradation physico-chimique de l'hydrosystème s'est appuyé sur des campagnes d'échantillonnage spatio-temporel le long du continuum amont-aval de la rivière Kalamu. Les paramètres clés, notamment la conductivité électrique ($\mu S/cm$), le pH et la température, ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi paramètre portable préalablement étalonné, afin de capter les fortes variations saisonnières induites par les flux de pollution urbaine (Mananga Ngoma et al., 2026b).

Parallèlement, pour quantifier la pression matérielle s'exerçant sur le lit de la rivière, un protocole de caractérisation des déchets solides a été mis en place au niveau des berges et des poubelles sauvages répertoriées dans les communes de Kalamu et Nzadi (Mananga Ngoma et al., 2025). Le tri par catégorie (plastiques, matières organiques, métaux, textiles) et la pesée directe ont permis de déterminer la composition gravimétrique des macro-déchets responsables de l'obstruction du drainage urbain et du phénomène corollaire de verrou hydraulique.

2.2.2. Évaluation des services écosystémiques par les matrices de capacité

L'évaluation et la quantification du différentiel entre les fonctions écologiques du cours d'eau et les besoins socio-économiques de la population de Boma ont été réalisées selon l'approche conceptuelle des matrices de capacité (Burkhard et al., 2009 ; Nedkov & Burkhard, 2012 ; FF Mananga et al.2026). Cette méthode s'articule autour des étapes suivantes :

1. **Identification des Unités d'Occupation du Sol (UOS) :** Cartographie du bassin versant divisé en géo faciès homogènes (têtes de bassin déboisées en amont, zones de maraîchage sur les berges, et zones urbaines denses/saturées en aval).
2. **Sélection et consultation des experts :** Un échantillon rigoureux de 35 experts locaux (regroupant des universitaires, des gestionnaires de l'environnement, des urbanistes et des représentants des services techniques de la mairie de Boma) a été constitué.
3. **Attribution des scores d'Offre et de Demande :** À l'aide d'une échelle semi-quantitative standardisée allant de 0 (absence de capacité/demande) à 5 (capacité/demande maximale), les experts ont évalué l'Offre (O) ; la capacité biophysique

réelle de chaque UOS à fournir des services visibles et invisibles et la Demande (D) et, l'intensité de la consommation ou de l'exigence de la population Bomatracienne vis-à-vis de ces mêmes services.

4. **Calcul du Budget Écosystémique (ASE) :** Pour chaque service identifié, le bilan a été calculé selon l'équation : $\Delta SE = \text{Offre} - \text{Demande}$.

Cette approche standardisée a permis de formaliser mathématiquement le déficit écosystémique critique évalué à -5 pour les services invisibles de régulation des crues dans la basse ville de Boma, traduisant une situation d'insoutenable environnementale aiguë où la demande sociale sature complètement une offre biophysique en ruine (Mananga Ngoma et al., 2026a).

3. Résultats et Discussion

3.1. Typologie et dynamique des services écosystémiques visibles

Les services écosystémiques visibles correspondent aux bénéfices matériels (approvisionnement) et immatériels directs (culturels) que les populations des communes de Kalamu, Nzadi et Kabondo retirent quotidiennement de l'hydrosystème. L'analyse des données de terrain révèle une exploitation intensive mais asymétrique de ces ressources, fortement perturbée par la dégradation environnementale globale du bassin versant.

3.1.1. Services d'approvisionnement : une exploitation utilitariste immédiate

L'identification des flux de matières met en évidence trois principaux services d'approvisionnement visibles :

- **Extraction de matériaux de construction (sable et gravier) :** Le profil longitudinal de la rivière Kalamu favorise un transport solide important depuis l'amont déforesté vers la plaine alluviale de Boma (Vuni Simbu et al., 2025). Cette dynamique sédimentaire alimente une activité économique intense d'extraction artisanale de sable dans le lit mineur. Si cette activité génère des revenus pour les populations locales, elle accélère en contrepartie l'affouillement des berges et déstabilise le profil d'équilibre du cours d'eau, exacerbant le risque d'effondrement des infrastructures riveraines lors des crues (Mananga Ngoma et al., 2026a).
- **Maraîchage et sécurité alimentaire :**



Photo n°1 : les maraîchères du bassin versant de kalamu (terrain abattoir Inspection Urbaine Agriculture Boma)

Les plaines inondables et les berges directes de Kalamu soutiennent une activité de maraîchage urbain indispensable à l'approvisionnement des marchés de Boma (voir photo 1). Cependant, la viabilité de ce service est doublement menacée : en amont, par l'ensablement des espaces arables, et en aval, par l'accumulation de macro-déchets plastiques qui réduisent la surface cultivable et modifient la structure pédologique des sols riverains (Mananga Ngoma et al., 2025).

- **Usages domestiques de l'eau :**



Photo 2 : La rivière kalamu source principale pour la lessive, la vaisselle et la toilette corporelle à Boma (intu ya pompe)

Dans les secteurs non desservis de manière continue par la REGIDESO, l'eau de la rivière Kalamu reste la source principale pour la lessive, la vaisselle et la toilette corporelle (voir photo n°2). Néanmoins, le diagnostic hydro-qualitatif révèle que ce service d'approvisionnement de première nécessité expose les usagers à des risques sanitaires sévères. La forte conductivité électrique saisonnière et la charge bactériologique issues des effluents urbains démontrent que la ressource ne répond plus aux critères de potabilité et de salubrité de base (Mananga Ngoma et al., 2026b). Une dégradation en qualité qui varie d'un niveau à l'autre depuis son entrée dans la ville, en amont les activités comme la photo 2 l'illustre, ce n'est pas le cas pour un autre milieu en aval.

3.1.2. Services culturels et récréatifs en déclin

Les services culturels, bien qu'historiquement ancrés dans l'identité de la ville de Boma, subissent une dépréciation majeure (Wanga et al., 2015). La rivière Kalamu, autrefois valorisée comme un site d'attraction touristique, de baignade et de cohésion sociale, perd sa valeur esthétique et paysagère. Cette dégradation est la conséquence directe de la transformation des berges en un continuum de poubelles sauvages (Mananga Ngoma et al., 2025). L'accumulation de déchets plastiques flottants, les odeurs nauséabondes issues de la décomposition des matières organiques et la turbidité élevée des eaux rompent le lien récréatif qui unissait historiquement la population bomatracienne à son cours d'eau (Mananga Ngoma et al., 2025 ; Wanga et al., 2015).

TABLEAU N°1 : SERVICES ECOSYSTEMIQUES VISIBLES DE LA RIVIERE KALAMU A BOMA



1) L'eau de la rivière utilisée dans les activités agricoles sur le bassin versant de la rivière kalamu ; source de revenu pour des nombreuses familles à Boma.

Le maraichage le long de la rivière Kalamu, c'est le cœur de l'activité agricole de Boma. Encore traditionnelle et extensive, avec des petites parcelles familiales.

Irrigation est manuelle, avec des arrosoirs puisés directement dans la rivière kalamu.

Les femmes et les jeunes, sont plus concernés. Et, les jeunes cultivent principalement des légumes.

Problème : les risques qu'on pourrait avoir c'est :

- Les légumes sont arrosés avec une eau chargée en E-coli et déchets plastiques ;
- Risque de l'inondation, une seule pluie peut emporter toutes les plates-bandes ;



2) Extraction du sable : non seulement une source de revenu, mais aussi, ce sable contribue à la construction de la ville.

Le sable de la rivière kalamu, c'est la carrière de Boma. À Boma, tout le monde construit avec ce sable car c'est moins cher que le sable du fleuve Congo.

Le sable de la rivière kalamu est extrait directement dans le lit de la rivière, surtout en saison sèche quand l'eau baisse. Les zones les plus exploitées sont : petit port ; pont cobra ; quartier kalamu et pont socol.

Les principales personnes qui extraient du sable dans la rivière kalamu, sont des jeunes chômeurs, des équipes informelles avec pelles, bêches, seaux et des pirogues en pagaille.

Sable de la rivière kalamu, est en grain moyen à fin, un peu argileux et avec un peu de limon. Moins pur que le sable de mer, mais il accroche bien le ciment.

3.2. Analyse des services écosystémiques invisibles et modélisation du déficit critique

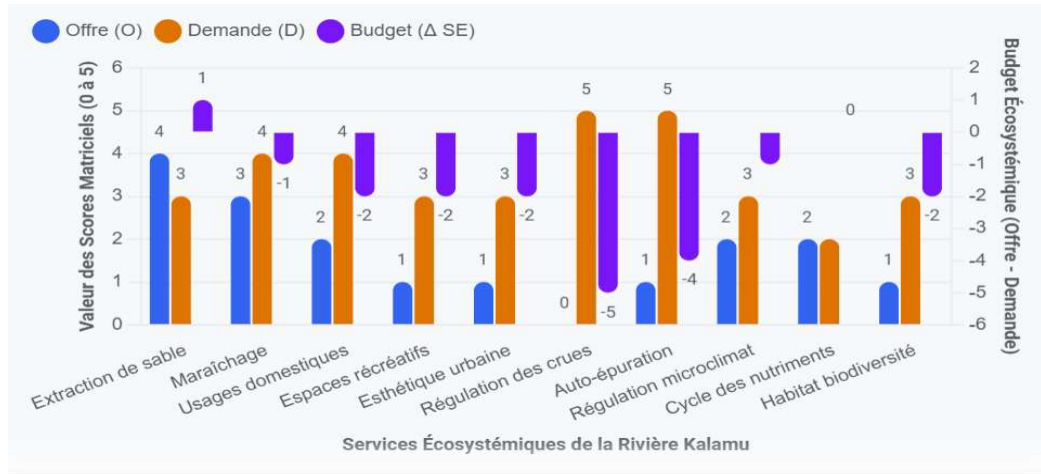
L'évaluation semi-quantitative par la méthode des matrices de capacité a permis de confronter l'offre biophysique du milieu à la demande sociale exprimée par la population civile et les gestionnaires urbains de Boma. Les résultats consolidés de cette évaluation sont synthétisés dans le Tableau 1 et illustrés graphiquement par la Figure 2.

Tableau 2 : Matrice de capacité et budgets des services écosystémiques (SE) de la rivière Kalamu

Catégorie de SE	Service Écosystémique Spécifique	Nature / Visibilité	Offre (O)	Demande (D)	Budget Écosystémique (Δ SE)
Approvisionnement	Extraction de matériaux (Sable)	Visible	4	3	+1 (<i>Surplus</i>)
Approvisionnement	Maraîchage et sécurité alimentaire	Visible	3	4	-1
Approvisionnement	Usages domestiques (Lessive, toilette)	Visible	2	4	-2
Culturel	Espaces récréatifs et baignade	Visible	1	3	-2
Culturel	Valeur paysagère et esthétique urbaine	Visible	1	3	-2
Régulation	Régulation des crues et drainage	Invisible	0	5	-5 (<i>Faillite critique</i>)
Régulation	Auto-épuration biogéochimique	Invisible	1	5	-4 (<i>Saturation</i>)
Régulation	Régulation du microclimat local	Invisible	2	3	-1
Soutien	Cycle des nutriments et sédiments	Invisible	2	2	0 (<i>Équilibre</i>)
Soutien	Habitat pour la biodiversité urbaine	Invisible			

Le tableau 2 ci-dessus met en exergue l'asymétrie sévère entre l'offre et la demande selon la nature du service. Pour l'extraction sédimentaire, l'intense érosion en amont génère un surplus apparent (+1). Cependant, ce bilan positif occulte l'effondrement global de l'hydrosystème, caractérisé par un budget de -5 pour la régulation des crues et de -4 pour l'auto-épuration. L'écosystème se trouve en état de faillite fonctionnelle absolue là où la pression sociale de sauvegarde est la plus forte.

Figure 2 : Évaluation matricielle de l'offre biophysique et de la demande sociale des services écosystémiques



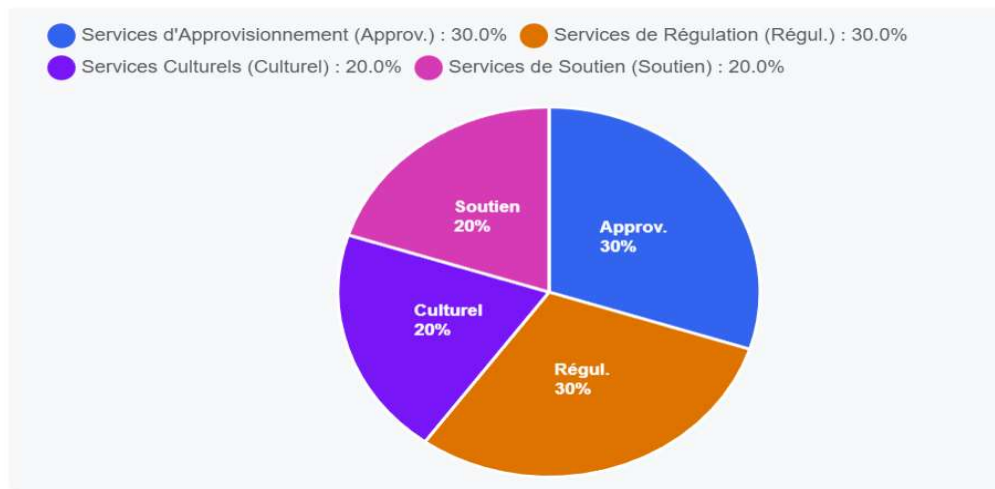
Cette représentation graphique (Figure 2) souligne visuellement le croisement critique des courbes. Alors que l'offre biophysique chute vers le niveau nul à mesure que l'on progresse vers les fonctions de régulation invisibles, la demande sociale atteint simultanément son maximum (score de 5). Ce fossé béant matérialise l'impuissance physique de la rivière Kalamu à faire face au ruissellement urbain en raison de son obstruction anthropique.

3.3. Structuration des résultats selon les objectifs spécifiques

3.3.1. Objectif Spécifique 1 : Cartographie et catégorisation des SE visibles et invisibles

Pour structurer le diagnostic global de l'hydrosystème (MEA, 2005), la **Figure 2** catégorise la distribution fonctionnelle des flux de services recensés le long du continuum de Kalamu.

Figure 3 : Distribution catégorielle des services écosystémiques identifiés le long de Kalamu



Ce diagramme circulaire (fig. 3) montre une répartition à parts égales entre les bénéfices à retombées directes (50 % cumulés pour l'approvisionnement et la culture) et les services environnementaux indirects (50 % pour la régulation et le soutien). Il démontre

l'erreur conceptuelle des politiques urbaines locales qui gèrent la rivière comme un simple fossé d'évacuation ou une mine de sable, en ignorant la moitié de sa valeur fonctionnelle systémique.

3.3.2. Objectif Spécifique 2 : Quantification du déficit hydro-environnemental par rapport à la salubrité (Macro-déchets et conductivité)

Pour caractériser la rupture d'équilibre hydro-environnementale causée par les pressions anthropiques en aval, le **Tableau 2** quantifie la composition gravimétrique moyenne des poubelles sauvages qui obstruent le lit [Mananga Ngoma et al., 2025], tandis que la **Figure 3** modélise les variations saisonnières de la conductivité électrique associées à ces rejets [Mananga Ngoma et al., 2026b].

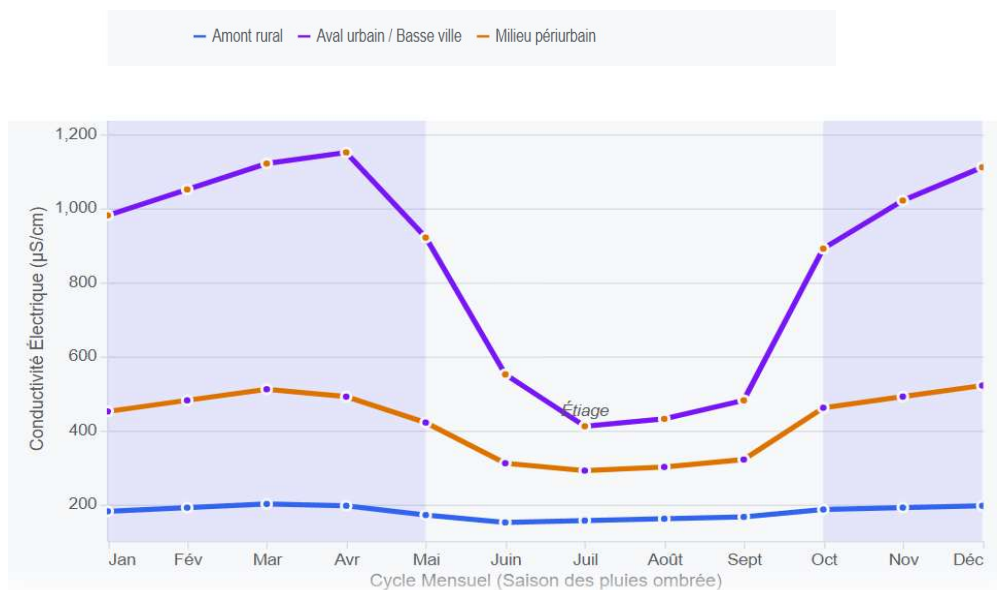
Tableau 3 : Caractérisation gravimétrique des macro-déchets dans les poubelles sauvages des berges (Kalamu et Nzadi)

Catégorie de Déchets Solides	Part Gravimétrique Moyenne (%)	Impact sur le Milieu Récepteur	Conséquence Fonctionnelle
Macro-déchets plastiques (PET/PEHD)	42 %	Fixation et piégeage des sédiments	Armature du verrou hydraulique
Matières organiques / Biodégradables	38 %	Décomposition, consommation d'oxygène	Chute du potentiel d'auto-épuration
Textiles et articles usagés	12 %	Obstruction mécanique des micro-canaux	Ralentissement du drainage linéaire
Métaux et divers	8 %	Pollution métallique diffuse	Dégradation écotoxicologique

Tableau 3 présente les données gravimétriques et, mettent en relief la prédominance alarmante des matières plastiques (42 %) et organiques (38 %). Lors des averses, ces polymères synthétiques agissent comme une véritable structure de capture sédimentaire. En emprisonnant le sable arraché à l'amont, ils transforment le lit de la rivière en un complexe induré, scellant le mécanisme du verrou hydraulique.

Figure 4 : Évolution mensuelle de la conductivité électrique des eaux de la Kalamu

Variations saisonnières et impact des lixiviats anthropiques le long du continuum amont-aval



La modélisation de la conductivité électrique ci-dessus (Fig.4), met en évidence un effet de pollution diffuse d'une sévérité extrême en aval urbain. Le pic de 1150 μ S/cm coïncide précisément avec la saison des pluies (octobre à mai). Ce phénomène valide l'hypothèse d'un lessivage massif des lixiviats issus des décharges de berges, confirmant que le pouvoir épurateur biologique de l'hydrosystème est totalement dépassé par la charge ionique anthropique.

3.3.3. Objectif Spécifique 3 : Formuler des outils de gouvernance environnementale (Contrat de rivière et GIRE)

Pour traduire ces conclusions en leviers opérationnels, le **Tableau 3** structure la matrice d'actions prioritaires proposée pour le futur **Contrat de rivière** de la Kalamu à Boma [Mananga Ngoma et al., 2026a ; Mavangu et al., 2025].

Tableau 4 : Matrice d'actions stratégiques du Contrat de rivière pour le bassin de la Kalamu

Axe Stratégique (GIRE)	Objectif Visé	Solutions Proposées (SFN et Réglementation)	Acteurs Clés Impliqués
Axe 1 : Amont	Restauration de l'effet d'éponge naturelle	Reboisement communautaire des collines et stabilisation des têtes de source	UNIBOMA, Services forestiers, Associations agricoles
Axe 2 : Transition	Tarissement du transport sédimentaire	Remplacement des briques adobes par des matériaux durables ; interdiction des coupes claires	Artisans briquetiers, Mairie de Boma
Axe 3 : Aval (Urbain)	Rupture définitive du verrou hydraulique	Éradication des poubelles sauvages, pose de bacs à ordures de quartier et curage mécanique	Mairie de Boma, Chefs de quartiers, Services techniques
Axe 4 : Sanitaire	Suivi du potentiel d'auto-épuration	Installation de stations de suivi hydro-qualitatif de la conductivité et du pH	Laboratoires universitaires, REGIDESO, Division de l'Environnement

Cette matrice d'actions fournit un cadre opérationnel de transition environnementale. Elle dépasse la simple réponse curative des crises d'inondation en corrélant les solutions écologiques amont (reboisement contre l'ensablement) aux réformes techniques de salubrité publique en aval (gestion des déchets pour briser le verrou hydraulique). Ce plan constitue le canevas d'une gestion intégrée (GIRE) et concertée de l'hydrosystème.

3.4. Discussion

La confrontation des résultats obtenus sur le bassin versant de Kalamu avec la littérature hydro-écologique internationale permet d'inscrire la crise environnementale de Boma dans le paradigme global des dysfonctionnements des hydrosystèmes urbains subsahariens.

Le budget écosystémique critique de -5 quantifié dans la basse ville de Boma (Mananga Ngoma et al., 2026a) corrobore les observations de Nedkov et Burkhard (2012) sur la vulnérabilité des plaines alluviales urbanisées. Ce déficit maximal traduit une rupture systémique où l'urbanisation détruit précisément les structures biophysiques dont elle dépend. Ce phénomène s'explique par le « paradoxe de l'invisibilité des services de régulation » (MEA, 2005). Tant qu'un service de régulation fonctionne, il reste invisible pour les décideurs. À Boma, cette cécité écologique a favorisé une gestion purement extractiviste et utilitariste immédiate, menant à l'effondrement brutal de la capacité de tamponnage hydrologique de la rivière (Mananga Ngoma et al., 2026a ; Mavangu et al., 2025).

Le mécanisme de verrou hydraulique par ensablement et accumulation de macro-déchets (Mananga Ngoma et al., 2025) illustre une dynamique environnementale typique des villes moyennes subsahariennes. Contrairement aux métropoles dotées de réseaux de drainage artificiels bétonnés, Kalamu cumule les désavantages d'un exutoire naturel obstrué et d'un bassin versant en amont agro-déforesté (Vuni Simbu et al., 2025). La sédimentation accélérée identifiée à Boma fait écho aux travaux menés sur d'autres cours d'eau urbains d'Afrique centrale, où l'absence de ramassage des ordures transforme les lits mineurs en exutoires solides (Lelo Nzuzi, 2011). À Boma, la caractérisation physique de ces poubelles sauvages (Mananga Ngoma et al., 2025) prouve que les plastiques non biodégradables forment une armature synthétique qui emprisonne le sable issu des collines érodées, consolidant ainsi le verrou hydraulique qui annihile l'effet d'éponge naturelle du cours d'eau (Mananga Ngoma et al., 2026a).

Les fortes fluctuations saisonnières de la conductivité électrique (Mananga Ngoma et al., 2026b) confirment la saturation définitive du service invisible d'auto-épuration. En hydrobiologie, une élévation brutale de la conductivité en saison des pluies indique un apport massif de lixiviats anthropiques par ruissellement (Wetzel, 2001). Dans Kalamu, ce phénomène démontre que la fonction de filtration biogéochimique naturelle est submergée par la charge polluante des décharges de berges (Mananga Ngoma et al., 2025). Cette perte de résilience affecte en retour les services visibles : l'eau n'étant plus auto-épurée, les activités de blanchisserie linéaire et les usages domestiques exposent directement les populations riveraines à des risques écotoxicologiques et sanitaires majeurs (Mananga Ngoma et al., 2026b ; Wanga et al., 2015).

4. Conclusion et Recommandations

4.1. Conclusion

Cette étude a permis de dresser un diagnostic systémique du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma, en mobilisant le cadre conceptuel des services écosystémiques pour dépasser l'approche classique centrée uniquement sur les risques hydro-environnementaux (MEA, 2005). Les investigations de terrain révèlent une fracture fonctionnelle majeure entre l'exploitation anthropique utilitariste et immédiate des services « visibles » et l'effondrement simultané des services de régulation et de soutien dits « invisibles » (Mananga Ngoma et al., 2026a).

L'application des matrices de capacité a permis de formaliser mathématiquement cette crise écologique à travers la mise en évidence d'un déficit écosystémique critique évalué à -5 dans la basse ville de Boma (Mananga Ngoma et al., 2026a). Ce déséquilibre structurel découle d'un double forçage anthropique : une déforestation agressive des collines en amont qui accentue la dynamique hydro-sédimentaire (Vuni Simbu et al., 2025), et une prolifération non régulée de poubelles sauvages sur les berges en aval (Mananga Ngoma et al., 2025). Le croisement de ces dynamiques engendre un phénomène de verrou hydraulique par ensablement et accumulation de macro-déchets, responsable de l'oblitération de la capacité de tamponnage hydrologique du cours d'eau et de la récurrence d'inondations urbaines meurtrières (Mananga Ngoma et al., 2025 ; Mananga Ngoma et al., 2026a). En définitive, l'invisibilité des processus régulateurs dans les représentations citadines et les politiques d'aménagement a favorisé une trajectoire d'insoutenabilité environnementale. Reconnaître la valeur pluridimensionnelle de cette rivière s'impose désormais comme un prérequis scientifique pour engager la transition vers une ville résiliente.

4.2. Recommandations stratégiques et opérationnelles

Pour inverser cette tendance et restaurer de manière intégrée la capacité écologique du bassin versant, les pistes d'action suivantes sont formulées à l'attention des décideurs publics et des communautés locales :

- **Mise en œuvre d'un Contrat de rivière participatif** : Il est urgent d'instituer un cadre de gouvernance locale unifiant les services urbains de la mairie, les chefs de quartiers des communes de Kalamu et Nzadi, les exploitants de sable, les maraîchers et le monde universitaire (Mavangu et al., 2025).
- **Restauration écologique par des Solutions Fondées sur la Nature (SFN)** : Il convient d'initier de vastes campagnes de reboisement et d'agroforesterie sur les versants amont dénudés du bassin afin de stabiliser les sols et de tarir à la source le transport sédimentaire (Vuni Simbu et al., 2025).
- **Rupture du verrou hydraulique et gestion intégrée des déchets solides** : La mairie doit éradiquer les décharges de berges par l'installation de points de collecte standardisés (Mananga Ngoma et al., 2025). Ces actions doivent s'accompagner de curages mécaniques ciblés et de la sanctuarisation réglementaire des zones d'expansion de crues.
- **Surveillance hydro-qualitative continue** : L'instauration d'un réseau de suivi régulier des paramètres biogéochimiques et physiques de l'eau (conductivité électrique et charge bactériologique) est essentielle pour évaluer en temps réel le recouvrement de la capacité d'auto-épuration de la rivière (Mananga Ngoma et al., 2026b).

Référence

- [1] **Lelo Nzuzi, F.** (2011). *Kinshasa: Ville et Environnement*. Le Harmattan, Paris.
- [2] **Mananga Ngoma, F. F.**, Mfwamba Mulumba, J. P., Umba di M'balu, J., Nsielolo Kitoko, R., Muzola Biakenga, J., Mambuku Ngoma, G., Luayi Nkele, E., Nzundu Mbatu, A., & Mbwanga Bayekula, J. (2026a). Matrices de capacité et résilience aux crues : Cas du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma en République Démocratique du Congo. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 12(2).
- [3] **Mananga Ngoma, F. F.**, Seke di Nzau, J., Kongo Bavukila, E., Lukombo Lukeba, J. C., & Mfwamba Mulumba, J. P. (2025). Caractérisation et quantification des déchets solides dans les poubelles sauvages aux abords de la rivière Kalamu à Boma en RDC. *The International Journal of Engineering and Science (TIJER)*, 12(7).
- [4] **Mananga Ngoma, F. F.**, Mfwamba Mulumba, J. P., Umba di M'balu, J., Angoboy Ilondea, B., & Body di Tsiku Lufua, F. (2026b). Diagnostic hydro-qualitatif des eaux du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma, Kongo Central, R. D. Congo.
- [5] **Mavangu, J.**, et al. (2025). Bassin versant de la rivière Kalamu à Boma : un écosystème menacé en quête d'un contrat de rivière pour une gestion participative des ressources en eau. *European Journal of Social Sciences Studies*, 10(6), 45-62.
- [6] **Millennium Ecosystem Assessment (MEA)**. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- [7] **Nedkov, S., & Burkhard, B.** (2012). Flood regulation as an ecosystem service: a mapping and assessment framework. *Ecosystem Services*, 1(1), 1-10.
- [8] **Vuni Simbu, A.**, Puela Puela, F., Kisangala Muke, M., Lelo Nzuzi, F., Masiala Bode, M., Aloni Komanda, J., & Nzau Umba-di-Mbudi, C. (2025). Dynamique de la déforestation et ses conséquences dans le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma (Kongo central, RD Congo). *Geo-Eco-Trop*.
- [9] **Wanga, B. M. B.**, Wafula, M. D., Mafuana, L. C., & Mbandu, Z. V. (2015). Rivière Kalamu dans la ville de Boma en RDC: site touristique en voie de disparition. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11(1), 118-128.
- [10] **Wetzel, R. G.** (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press.