

Analyse spatiale des phénomènes d'inondations et des maladies d'origine hydrique dans le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma à l'aide des Systèmes d'Information Géographique (SIG)

Spatial analysis of flooding and waterborne diseases in the Kalamu River catchment area in Boma using Geographic Information Systems (GIS)

Mabu MASIALA BODE¹, Alexis VUNI SIMBU², Arvel YOVOKA MFUANKATU², Blanchard NGOYI MATUNDU², François LELO NZUZI², Clement NZAU UMBA di MBUDI².

¹Mention Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université de Kinshasa, Kinshasa, R.D. Congo

²Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, Kinshasa, R.D. Congo

RESUME:

La rivière Kalamu et son bassin versant, situés dans la ville de Boma, sont soumis à une forte pression anthropique qui entraîne une dégradation progressive de l'environnement. L'urbanisation non planifiée, la croissance démographique rapide, l'occupation des zones inondables, l'insuffisance des infrastructures de drainage ainsi que le manque d'entretien du lit de la rivière et des caniveaux favorisent des inondations récurrentes. Ces phénomènes provoquent la dégradation des zones humides, l'accumulation de sédiments, la pollution des eaux et la contamination des sources d'approvisionnement en eau potable. Cette situation accroît l'exposition des populations aux maladies d'origine hydrique, notamment la fièvre typhoïde, les diarrhées (simple, avec déshydratation et avec déshydratation sévère) ainsi que l'amibiase, qui constituent d'importants problèmes de santé publique dans les aires de santé de Boma. Les inondations favorisent le débordement des latrines, le mélange des eaux usées avec les eaux de consommation et la prolifération des agents pathogènes responsables de ces maladies. Les informations utilisées dans cette étude ont été collectées sur le terrain, puis traitées et analysées à l'aide des logiciels Microsoft Word 2016, Google Earth Pro, ArcGIS 10.7.1, ENVI 5.0 et ILWIS 3.31 pour l'analyse spatiale, la cartographie et l'exploitation des données satellitaires.

Mots clés : SIG, Inondation, Bassin versant, Maladies d'origines hydriques, Risque sanitaire.

ABSTRACT :

The Kalamu River and its catchment area, located in the town of Boma, are subject to significant human pressure, which is leading to gradual environmental degradation. Unplanned urbanisation, rapid population growth, the encroachment of settlements into floodplains, inadequate drainage infrastructure and a lack of maintenance of the riverbed and drainage channels are contributing to recurrent flooding. These factors lead to the degradation of wetlands, sediment accumulation, water pollution and the contamination of drinking water supplies. This situation increases the population's exposure to waterborne diseases, notably typhoid fever, diarrhoea (simple, with dehydration and with severe dehydration) and amoebiasis, which constitute major public health problems in the Boma health districts. Flooding contributes to latrines overflowing, the mixing of wastewater with drinking water, and the proliferation of the pathogens responsible for these diseases. The data used in this study were collected in the field, then processed and analysed using Microsoft Word 2016, Google Earth Pro, ArcGIS 10.7.1, ENVI 5.0 and ILWIS 3.31 for spatial analysis, mapping and the processing of satellite data.

Keywords: GIS, Flooding, Catchment area, Waterborne diseases, Health risks.

*Adresse des Auteur(s)

Mabu MASIALA BODE, Mention Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université de Kinshasa, Kinshasa, R.D. Congo ;

Alexis VUNI SIMBU, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, Kinshasa, R.D. Congo ;

E-mail : alexis.vuni@unikin.ac.cd

Tél : +243 892073362 ;

Arvel YOVOKA MFUANKATU, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, Kinshasa, R.D. Congo ;

Blanchard NGOYI MATUNDU, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, R.D. Congo

François LELO NZUZI, Mention Géosciences, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Kinshasa, R.D. Congo ;

Clement NZAU UMBA di MBUDI, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, Kinshasa, R.D. Congo ;

I. INTRODUCTION

Les inondations constituent aujourd'hui le risque naturel le plus fréquent et l'un des plus destructeurs à l'échelle mondiale (Banque Mondiale, 2010). Elles résultent d'un excès d'eau qui ne peut être évacué normalement par gravité sur une superficie et une durée variable (Kinakpefan, 2023). Sous l'effet des changements climatiques, de l'urbanisation rapide, de la croissance démographique et de l'occupation anarchique des espaces urbains, leur fréquence et leur intensité ne cessent d'augmenter, particulièrement dans les pays en développement (Ozer et al., 2014 ; Alla et al., 2018). Le Laboratoire de Météorologie Dynamique a qualifié l'année 2022 d'année des phénomènes extrêmes, tandis que l'UNICEF (2022) estime qu'au moins 27,7 millions d'enfants répartis dans 27 pays ont été affectés par des inondations dévastatrices.

En Afrique, la croissance rapide des villes, souvent non accompagnée d'une planification urbaine adaptée, accentue

la vulnérabilité aux risques hydrométéorologiques (Douglas et al., 2008). Les systèmes de drainage insuffisants, l'imperméabilisation des sols, l'occupation des plaines inondables et la dégradation des bassins versants favorisent la survenue d'inondations récurrentes, entraînant d'importantes pertes humaines, économiques et environnementales. Au-delà des destructions d'infrastructures, ces catastrophes perturbent durablement les conditions de vie des populations et constituent un facteur majeur de dégradation de la santé publique.

Les inondations jouent en effet un rôle déterminant dans la propagation des maladies d'origine hydrique. Les débordements des cours d'eau et des systèmes d'assainissement provoquent le mélange des eaux usées avec les sources d'approvisionnement en eau potable, la contamination des puits et des forages ainsi que la prolifération des agents pathogènes. Ces conditions favorisent l'apparition et la recrudescence de maladies telles que la fièvre typhoïde, les diarrhées aiguës, les diarrhées avec déshydratation, les diarrhées avec déshydratation sévère, l'amibiase, le choléra, les hépatites virales A et E et d'autres maladies liées au péril fécal. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2022), au moins deux milliards de personnes consomment une eau contaminée par des matières fécales, et la contamination microbiologique de l'eau est responsable d'environ 485 000 décès par maladies diarrhéiques chaque année. Ces maladies demeurent parmi les principales causes de morbidité et de mortalité dans les pays à faible revenu, où les infrastructures d'eau potable et d'assainissement restent insuffisantes.

La ville de Boma, située dans la province du Kongo Central en République Démocratique du Congo, illustre parfaitement cette problématique. Comme de nombreuses villes de la RDC, elle connaît une urbanisation rapide et souvent désordonnée qui s'est développée sans tenir suffisamment compte des contraintes topographiques et hydrologiques (Lelo, 2011). Le réseau de voirie et de drainage, hérité en grande partie de l'époque coloniale, s'est progressivement dégradé faute d'entretien adéquat. Les caniveaux sont fréquemment obstrués par les déchets solides et les sédiments, limitant fortement leur capacité d'évacuation des eaux pluviales. Cette situation favorise les débordements de la rivière Kalamu et des autres cours d'eau urbains, notamment les rivières Mbangu, Kifua, Sindi et Kabondo (Vuni et al., 2022).

Au cours des dernières décennies, la ville de Boma a été frappée à plusieurs reprises par des inondations particulièrement destructrices. Les événements de 1985, de décembre 1999, de novembre 2015, de décembre 2016, de novembre 2018 et plus récemment de décembre 2024 ont entraîné des pertes en vies humaines, la destruction de

nombreuses habitations, des déplacements de populations et des dommages importants aux infrastructures publiques, notamment aux établissements de santé. L'inondation de décembre 2016 demeure l'une des plus catastrophiques, avec 40 décès, 13 personnes disparues, plus de 24 000 sinistrés et plus de 1 100 habitations détruites (BAD, 2017). Les fortes pluies enregistrées en décembre 2024 ont de nouveau provoqué des crues importantes, entraînant plusieurs décès, l'effondrement de nombreuses habitations et l'isolement de plusieurs quartiers de la ville (Vuni et al., 2023).

Ces inondations répétitives ont également des répercussions importantes sur la santé des populations. Le débordement des latrines, la contamination des puits, le mélange des eaux usées avec les eaux de consommation ainsi que l'insuffisance des infrastructures d'assainissement favorisent la transmission des maladies d'origine hydrique. Les données sanitaires de la ville de Boma montrent une forte prévalence de la fièvre typhoïde, des diarrhées sous différentes formes et de l'amibiase, particulièrement dans les aires de santé les plus exposées aux inondations telles que Kalamu, Sinai, Buanionzi, Kimbangu et Boma Ville. Cette situation souligne l'existence d'un lien étroit entre la dynamique des inondations, la dégradation environnementale et les risques sanitaires auxquels sont confrontées les populations riveraines (Vuni et al., 2025).

Face à cette problématique, la compréhension du fonctionnement hydrologique du bassin versant de la rivière Kalamu apparaît indispensable pour améliorer la prévention et la gestion des risques. Les technologies de télédétection, les systèmes d'information géographique (SIG) et les modèles numériques de terrain offrent aujourd'hui des outils performants pour analyser les facteurs de vulnérabilité, simuler les scénarios d'inondation et identifier les zones les plus exposées.

La présente étude vise ainsi à élaborer un modèle spatial d'analyse des inondations dans le bassin versant de la rivière Kalamu afin d'identifier les zones vulnérables, d'évaluer les impacts environnementaux et sanitaires, notamment sur les maladies d'origine hydrique, et de proposer des mesures susceptibles de renforcer la prévention et la gestion intégrée des risques d'inondation dans la ville de Boma. Plus spécifiquement, elle cherche à comprendre la dynamique des inondations, à reproduire différents scénarios d'inondation et à délimiter les zones les plus exposées afin de contribuer à une meilleure planification urbaine et à la réduction des risques pour les populations.

II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Milieu d'étude

Boma est une ville de la République Démocratique du Congo (RDC), localisée dans la province du Kongo Central, à 490 km de Kinshasa. Le 29 juin 1868, le Père missionnaire Capucin Serafino do Ortona, en quête de nouveaux chrétiens le long du fleuve Congo pour le compte du roi du Portugal, l'a découverte. Elle a été la première capitale de l'État souverain du Congo du 1er septembre 1886 au 18 octobre 1908. Boma a également été la capitale du Congo Belge du 18 octobre 1908 jusqu'au 30 juillet 1929. C'est à cette date que la capitale a été déplacée à Léopoldville. De la date du 30 décembre 1935 jusqu'en 1963, Boma a été le chef-lieu du district du Bas-fleuve. Il a été établi comme un centre hors des cadres coutumiers par l'arrêté provincial n°810 du 30 décembre 1935. Entre 1963 et 1965, Boma a été déclarée ville par le décret présidentiel n°49-63 du 03/09/1963. L'agglomération de Boma a été établie par le décret provincial n°42-63 du 5 novembre 1963, comprenant deux communes (Nzadi et Kalamu). De 1963 à 1975, Boma retrouve son statut de chef-lieu du district du Bas fleuve ainsi que du territoire de Boma. Le 23 juillet 1971, l'ordonnance présidentielle n°71-178 a rétabli le statut de ville pour Boma. Elle est devenue le centre administratif de l'entité urbano-rurale de Boma et comprend trois communes urbaines : Nzadi, Kalamu et Kabondo.

La ville est subdivisée en 17 quartiers notamment : Buanionzi, Tshituzi, Mao, Bunzi, Ngomuila, Boma ville, Minkondo, Mvuangu, Lovo, Guzi, Luki, Kimbangu, Sekambote, Kutu, Lukunga et Kikuku (Rapport de la Mairie, 2024). Le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma a été plusieurs fois documenté, notamment par Vuni et al. (2025, 2024, 2023, 2022, 2020), Wanga et al. (2015, 2014) ainsi que Mbuangi et al. (2021). L'étude actuelle se concentre sur la portion du bassin versant de la rivière Kalamu située entre 13° 00' 00" et 13° 11' 30" de longitude Est et entre 5° 39' 00" et 5° 51' 00" de latitude Sud. Ce petit sous-affluent du fleuve Congo prend sa source dans une forêt à 300 mètres d'altitude avant de s'écouler vers les plaines à 181 mètres. La rivière Kalamu traverse trois communes urbaines (Kalamu, Kabondo et Nzadi) avant de se jeter dans le fleuve Congo à proximité du port de Boma. Son bassin versant couvre une superficie de 68,84 km² et son périmètre s'étend sur 44,36 km (figure 1).

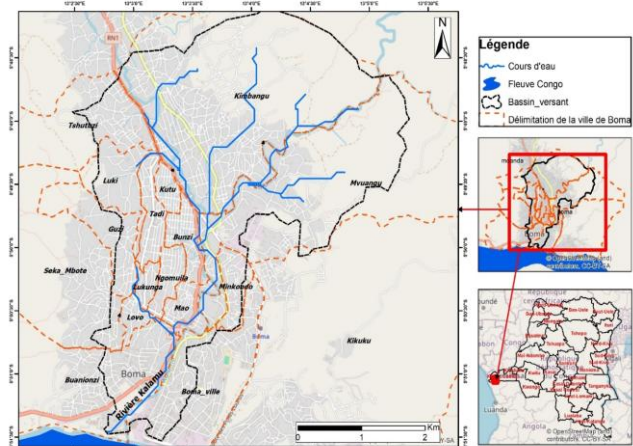


Figure 1. Localisation du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma.

II.2. Approche de spatialisation du risque d'inondation

La présente étude s'est appuyée comme d'habitude sur la recherche bibliographique. L'élaboration d'une carte des risques est un outil crucial pour orienter les décisions. Elle permet d'anticiper ou de minimiser les impacts et les catastrophes découlant de l'émergence des inondations à un niveau de danger significatif et crucial (Houessinson et al., 2023). Afin d'apprécier le niveau de risque d'inondation dans la zone d'étude, il est essentiel de déterminer deux éléments clés : le concept d'aléa et de vulnérabilité. Ces deux sont représentés dans la figure 2.

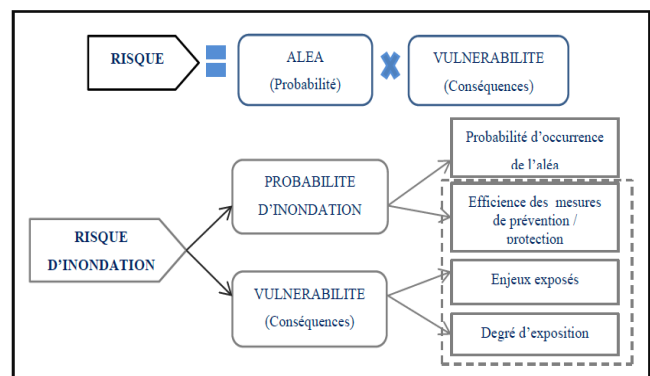


Figure 2. Indicateurs du risque d'inondation (Source : Communauté Métropolitaine de Montréal, 2021, cité par Houessinson et al (2023).

II.3. Accès à l'image satellite et production des cartes

Cette tâche a été exécutée avec le logiciel ILWIS (Integrated Land an Water Information System). L'opération commence par la définition d'un environnement de travail. Il s'agit avant tout, de créer un répertoire sur le disque dur dans lequel seront logés tous les objets qui devront servir au traitement et de paramétrer l'interface de travail en

définissant le type de projection, le Datum et la zone géodésique. Une image satellitaire SRTM de la zone d'étude d'une résolution de 30 mètres a été logée dans l'interface de travail sous format ouvrable dans le logiciel ILWIS. Cette image a constitué la base de toutes les simulations topographiques et hydrologiques présentées dans cette étude. Les premières analyses ont été exécutées par la cartographie numérique avec les logiciels ILWIS il s'agit essentiellement d'extraire les données spatiales. Cette gamme concerne la carte de drainage, la carte de surface inondable et la carte de simulation produite à partir du modèle numérique de terrain. La seconde catégorie des cartes concerne la voirie avec ARCMAP.

II.4. Simulation de l'inondation par phénomène de sédimentation

La méthode appelée « phénomène sédimentaire » a été utilisée pour déclencher l'aléa d'inondation. Ce phénomène se produit au rejet des matières solides, dans le lit de la rivière ou dans le bassin versant. Pour modéliser ce phénomène, les éléments suivants ont été pris en compte :

- Une image SRTM du milieu d'étude ;
- Un point matérialisant un dépôt sédimentaire ;
- Le niveau limnimétrique pour la hauteur d'eau.

L'élaboration du modèle est passée par les étapes suivantes :

- Etape 1 : l'élaboration d'une carte localisant le dépôt sédimentaire ;
- Etape 2 : la combinaison du SRTM avec la carte de localisation de dépôt sédimentaire grâce aux syntaxes suivants : SRTM associé = IFUNDEF ((Nom de la carte du site de dépôt), SRTM (Altitude du plan d'eau après inondation)) dans la barre de recherche puis valider pour obtenir le SRTM associé ;
- Etape 3 : la détermination de la zone inondable par itération, en tapant le script suivant :
- Iff (Nom du MNT combiné) » (Altitude d'eau après inondation), Start, NBMAX (Start Map).

II.5. Matériels

Les matériels utilisés dans cette étude sont de diverses natures à savoir :

- Google Earth Pro : pour visualiser des images historiques sur l'évolution du lit de la rivière par rapport à la ville et aussi l'évolution des habitats aux abords de la rivière, ENVI 5.0 : particulièrement la version classique pour classer les images Landsat ;
- ArcGIS 10.7.1 : pour analyser, traiter les données géospatiales et aussi réaliser toutes les cartes présentées dans l'étude ;
- GPS Garmin 64s : pour collecter les coordonnées géographiques des stations hydrométriques et des points submergés ;

- Appareil photographique KODAK Pixpro A401 : pour la prise des photos des ménages endommagés sur le terrain ;
- ILWIS 3.31 : pour faire des traitements des différentes cartes et la simulation des zones inondables ;
- Microsoft Excel 16 : nous a permis d'afficher les coordonnées Gps collectées sur le terrain, de les traiter et de le mettre sous format CSV séparateur pour l'afficher dans ArcMap. Aussi pour le calcul du poids des critères d'après l'outil AHP et le traitement des informations recueillies de l'entretien.

III. RESULTATS

III.1. Simulation des inondations

Cette surface inondable permet d'évaluer les risques pour les biens, les personnes et les activités économiques. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour la gestion de crise (évacuation, protection, interruption de service), aménagement du territoire et la prévention des risques. La carte 8 permet de confronter les résultats simulés par le modèle aux données réelles collectées sur le terrain, elle intègre les coordonnées géographiques précises des points de mesure ce qui permet une analyse spatiale plus précise de la performance du modèle. On observe que les points collectés sur le terrain correspondent aux différentes stations d'observations réparties sur l'ensemble du périmètre étudié, atteste que le modèle est fiable car, les différentes coordonnées géographiques collectées dans la zone inondable tombent à 95% dans le modèle simulé.

Quand des éléments géographiques prennent part à un modèle, il est souhaitable d'examiner la sensibilité de ce dernier face aux incertitudes liées aux mesures de ces surfaces. Si l'on suppose que l'erreur de mesure augmente en fonction de la taille des mailles, les modifications des ratios d'éléments cartographiques produites par l'agrégation entraînent une détérioration des résultats du modèle. Les différents scénarios exposés ci-dessous mettent en lumière les diverses interactions des composantes du système modélisé (figures 3, 4, 5, 6, 7 et 8), basées sur une hauteur d'eau de 3,50 m, déterminée grâce à une échelle limnimétrique de la station Sindi. Cette montée d'eau représente un niveau important de crue, pouvant entraîner un débordement des eaux. Des tests de sensibilité et d'impact sont réalisés lors des étapes de simulation.

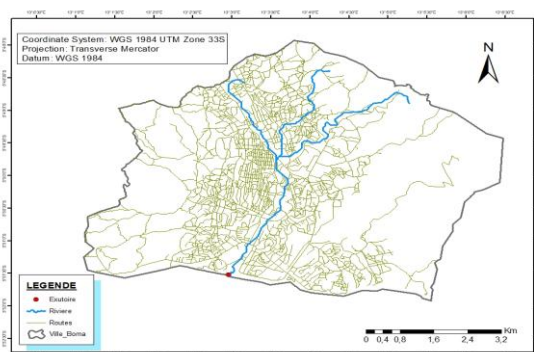


Figure 3. Réseau hydrographique.

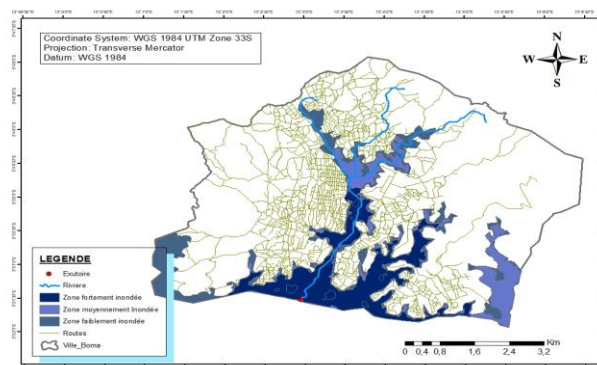


Figure 6. Zone d'aléa d'inondation.

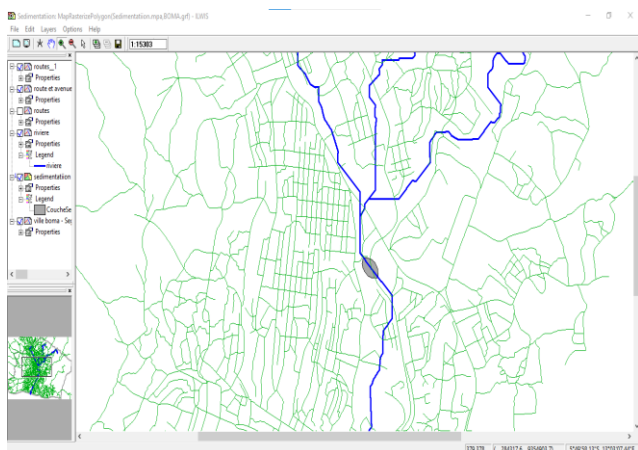


Figure 4. Ecran d'affichage du site localisant la couche sédimentaire.

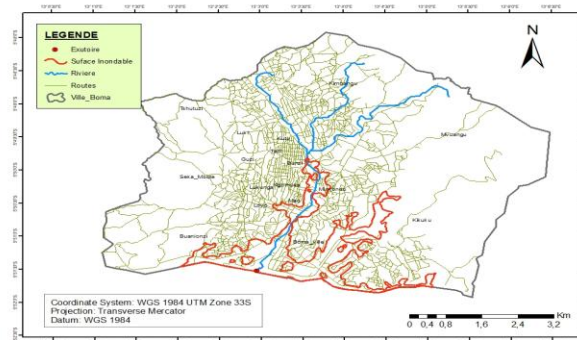


Figure 7. Carte de surface inondable.

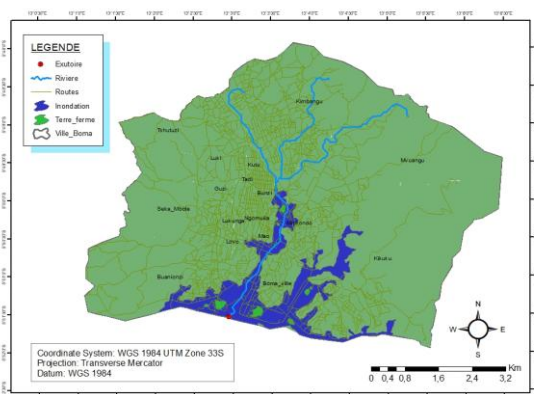


Figure 5. Carte d'aléa d'inondation de la rivière Kalamu avec 3,50 m au niveau de l'échelle limnimétrique.

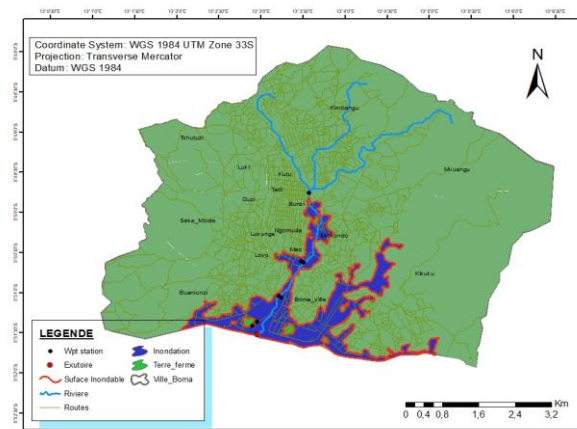


Figure 8. Validation du Modèle de simulation

III.2. Maladies d'origines hydriques

La figure 1 met en avant l'évolution du nombre de cas de fièvre typhoïde, normalisés pour 1000 habitants, durant la période de 2020 à 2025. Les barres empilées représentent les données selon les différentes aires de santé, permettant d'observer les variations et les tendances au fil des années. Cette analyse est vitale pour évaluer l'impact de la fièvre typhoïde et guider les efforts de santé publique dans ces régions. La figure n° 5 présente le nombre de cas de fièvre

typhoïde enregistrés dans les aires de santé de Boma ville, Buanionzi, Bunzi, Kalamu, Kimbangu A et B, de 2020 à 2025. On remarque que le nombre de cas est très élevé à Boma ville en 2020, par rapport aux autres aires de santé. En 2022, l'aire de santé de Buanionzi a enregistré le plus grand nombre de cas. En 2025, l'aire de santé de Sinai a enregistré le plus grand nombre de cas.

III.2.1. Fièvre typhoïde

Le tableau 1 présente le nombre de cas de fièvre typhoïde enregistrés dans les aires de santé de Boma ville, Buanionzi, Bunzi, Kalamu, Kimbangu A et B, de 2020 à 2025. On remarque que le nombre de cas est très élevé à Boma ville en 2020, par rapport aux autres aires de santé. En 2022, l'aire de santé de Buanionzi a enregistré le plus grand nombre de cas. En 2025, l'aire de santé de Sinai a enregistré le plus grand nombre de cas. L'intervalle de cas varie entre 1 et 302.

Tableau 1. Nombre de cas de la fièvre typhoïde

Aires de santé	Années					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Boma ville	241	31	57	43	34	34
Buanionzi	53	68	165	94	77	174
Bunzi	-	-	2	-	22	44
Kalamu	-	13	25	1	1	-
Kimbangu/A	7	-	6	8	4	15
Kimbangu/B	27	25	60	59	116	248
Sinai	102	38	171	125	241	302
Total	430	175	486	330	495	817

Source : Zone de santé de la ville de Boma, 2025.

III.2.2. Diarrhée simple

En ce qui concerne la diarrhée simple, l'aire de santé de Bunzi avait enregistré le moins de cas, suivie de Kalamu. Par contre, les aires de santé de Buanionzi et de Boma ville avaient enregistré plus de cas. L'intervalle de cas variait entre 17 et 1 135 (tableau 2).

Tableau 2. Nombre de cas de la diarrhée simple

Aires de santé	Années					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Boma ville	573	524	489	457	485	181
Buanionzi	852	925	1104	1499	1135	651
Bunzi	24	45	39	41	70	17
Kalamu	123	90	129	103	195	153
Kimbangu/A	176	228	164	153	289	256
Kimbangu/B	352	256	270	336	644	436
Sinai	335	418	380	354	446	273
Total	2435	2486	2575	2943	3264	1967

Source : Zone de santé de la ville de Boma, 2025.

III.2.3. Diarrhée avec déshydratation

Concernant la diarrhée avec déshydratation, on constate que les aires de santé de Bunzi, de Sinai, de Kalamu, de Kimbangu A et de Kimbangu B avaient enregistré moins de cas entre 2020 et 2025, alors que Boma ville et Buanionzi en avaient enregistré plus. Le nombre de cas variait entre 7 et 169 (tableau 3).

Tableau 3. Nombre de cas rapportés pour la diarrhée avec déshydratation

Aires de santé	Années					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Boma ville	56	40	45	35	13	16
Buanionzi	139	56	93	73	100	95
Bunzi	5	5	13	12	19	7
Kalamu	37	24	30	33	51	28
Kimbangu/A	16	18	32	33	63	42
Kimbangu/B	111	87	87	115	169	80
Sinai	26	61	37	23	71	39
Total	390	291	337	324	486	307

Source : Zone de santé de la ville de Boma, 2025.

III.2.4. Diarrhée avec déshydratation sévère

Comme le montre le tableau 18, le nombre de cas est moins élevé dans les aires de santé de Bunzi et de Sinai. Aucun cas n'a été enregistré en 2020 et en 2022. Les aires de santé de Buanionzi, de Kalamu et de Kimbangu B ont enregistré des cas pendant toutes les années. L'intervalle entre les cas varie de 1 à 54 (tableau 4).

Tableau 4. Nombre de cas rapportés de la diarrhée avec déshydratation sévère

Aires de santé	Années					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Boma ville	7	2	3	5	-	-
Buanionzi	9	15	9	9	21	14
Bunzi	-	-	2	1	-	2
Kalamu	5	4	4	6	5	2
Kimbangu/A	4	4	3	11	7	-
Kimbangu/B	43	21	27	32	54	33
Sinai	-	4	-	2	3	1
Total	68	50	48	66	90	52

Source : Zone de santé de la ville de Boma, 2025.

III.3. Amibe

Concernant l'amibe, on constate dans ce tableau un nombre élevé de cas dans toutes les aires de santé. L'intervalle de cas varie entre 79 et 1 233. Cette augmentation s'explique par le fait que les ménages utilisent une eau de mauvaise qualité, en l'absence d'assainissement et d'hygiène. La propagation des amibes est facilitée par des pratiques d'hygiène insuffisantes dans les ménages, les écoles et les lieux de culte (tableau 4).

Tableau 4. Nombre des cas rapportés pour l'amibe

Aires de santé	Années					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Boma ville	978	1123	1213	1233	1033	458
Buanionzi	943	806	929	693	847	543
Bunzi	305	246	384	303	259	141
Kalamu	170	113	122	79	266	170
Kimbangu/A	440	609	583	677	348	226
Kimbangu/B	798	835	1098	1014	1312	886
Sinai	529	715	508	338	439	416
Total	4 163	4 447	4 837	4 337	4 504	2 840

Source : Zone de santé de la ville de Boma, 2025.

IV. DISCUSSION

Les résultats de cette étude confirment que les inondations constituent un phénomène récurrent dans le bassin versant de la rivière Kalamu et qu'elles résultent de l'interaction entre des facteurs naturels et anthropiques. Cette conclusion rejoint les observations de la Banque mondiale (2010), de Kinakpefan (2023) et du Laboratoire de Météorologie Dynamique, qui soulignent que les inondations représentent aujourd'hui le risque naturel le plus fréquent au monde. Les événements extrêmes observés en 2022, ayant touché plus de 27,7 millions d'enfants dans 27 pays (UNICEF, 2022 ; Kinakpefan, 2023), illustrent l'aggravation de ce phénomène sous l'effet des changements climatiques. De même, le GIEC (Bruckman et al., 2019) indique que les conséquences des événements climatiques extrêmes sont 20 à 30 fois plus importantes dans les pays en développement en raison de leur plus grande vulnérabilité socio-économique.

Les résultats obtenus dans la ville de Boma sont également cohérents avec ceux rapportés dans plusieurs villes africaines telles que Cotonou, Dakar, Niamey, Nairobi, Douala, Kinshasa et Taza (Diongue, 2014 ; Layan et al., 2023). Dans toutes ces villes, les inondations sont associées à une urbanisation rapide, à l'insuffisance des infrastructures de drainage, à l'occupation des zones inondables et à la dégradation des bassins versants. Les facteurs identifiés dans le bassin versant de la rivière Kalamu, notamment les constructions anarchiques, la déforestation, l'ensablement du lit de la rivière, le manque d'entretien des caniveaux et le déversement des déchets, corroborent les travaux de Vuni (2023). Ils sont également comparables aux observations de Holenu et al. (2024) à Kinshasa, où l'ensablement des rivières, l'accumulation des déchets et l'urbanisation non planifiée constituent les principales causes des inondations.

Les résultats confirment également les conclusions de Yalobali (2023), selon lesquelles les fortes précipitations, le débordement des cours d'eau, l'occupation des zones marécageuses et le mauvais entretien des ouvrages d'assainissement représentent les principaux facteurs déclencheurs des inondations dans la province de la Tshopo.

Ces observations démontrent que les mécanismes responsables des inondations restent relativement similaires dans plusieurs villes africaines, même si leur intensité varie selon les caractéristiques physiques et socio-économiques de chaque bassin versant.

Au-delà des facteurs explicatifs, cette étude met en évidence l'ampleur des conséquences environnementales, économiques, sociales et sanitaires des inondations. Les pertes humaines, la destruction des habitations, les dommages causés aux infrastructures, l'interruption des activités économiques et la dégradation des réseaux de transport observées à Boma rejoignent les résultats de Vuni et al. (2025), du PNUE (2016) et du GFDRR (2014). Ces études montrent que les secteurs du logement, du commerce, des infrastructures urbaines, de l'énergie et des transports sont les plus touchés lors des catastrophes liées aux inondations. Les dommages aux écoles, aux centres de santé, aux réseaux d'eau potable et aux ouvrages d'assainissement contribuent également à accentuer la vulnérabilité des populations.

L'un des principaux apports de cette étude concerne toutefois la mise en évidence du lien entre les inondations et les maladies d'origine hydrique. Les résultats montrent que la fièvre typhoïde, les diarrhées simples, les diarrhées avec déshydratation, les diarrhées avec déshydratation sévère ainsi que l'amibiase demeurent très fréquentes dans les aires de santé de Boma entre 2020 et 2025. Cette situation traduit une contamination persistante de l'environnement par les matières fécales, aggravée par les débordements des latrines, la pollution des puits et des sources d'eau ainsi que les insuffisances du système d'assainissement. Les quartiers de Sinai, Buanionzi, Boma Ville et Kimbangu B apparaissent comme les plus exposés, probablement en raison de leur forte densité de population, de leur proximité avec les zones inondables et de la faiblesse des infrastructures sanitaires.

L'augmentation de la fièvre typhoïde entre 2020 et 2025, passant de 430 à 817 cas, confirme une transmission persistante de Salmonella Typhi dans les zones où l'approvisionnement en eau potable demeure insuffisant. Ces résultats sont conformes aux données de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2022), qui estime que plus de deux milliards de personnes utilisent encore une eau contaminée par des matières fécales. Ils rejoignent également les observations de Dombor Djikoloum et al. (2024), qui ont rapporté une forte incidence de la fièvre typhoïde dans la ville d'Abéché, attribuée aux défaillances des infrastructures d'eau potable et d'assainissement.

L'évolution de la diarrhée simple, caractérisée par une augmentation progressive jusqu'en 2024 suivie d'une diminution en 2025, traduit probablement une exposition continue des populations aux eaux contaminées. Cette

diminution pourrait résulter d'interventions sanitaires ponctuelles, d'une amélioration temporaire de l'accès à l'eau potable ou d'une variation des systèmes de notification. Toutefois, cette hypothèse nécessiterait des investigations complémentaires. Les travaux de Christophe A. (2015), de Sanou et al. (1999) ainsi que ceux de Dombor Djikoloum et al. (2024) montrent également que la diarrhée demeure une maladie endémique dans les villes où les conditions d'hygiène et d'assainissement restent précaires.

Les diarrhées avec déshydratation et avec déshydratation sévère, bien que moins fréquentes, représentent un problème majeur de santé publique en raison de leur gravité, notamment chez les enfants de moins de cinq ans. L'augmentation observée en 2024 pourrait être directement liée aux fortes pluies et aux inondations ayant affecté la ville de Boma durant cette période. Cette relation entre les inondations et les maladies diarrhéiques est également rapportée par Aubry (2023), qui rappelle que la consommation d'eau insalubre demeure l'une des principales causes de mortalité infantile dans les pays en développement.

L'amibiase apparaît comme la maladie hydrique la plus fréquente dans la présente étude, avec plus de 4 000 cas enregistrés durant la majorité des années étudiées. Cette forte prévalence traduit une contamination importante du milieu par les matières fécales et confirme l'insuffisance des mesures d'hygiène individuelle et collective. Ces observations sont cohérentes avec les données de l'OMS (2022) et d'Aubry (2023), qui soulignent que l'absence d'eau potable et de systèmes d'assainissement adéquats favorise la transmission des maladies entériques.

Enfin, les résultats obtenus renforcent l'hypothèse selon laquelle les inondations constituent un facteur aggravant de la morbidité liée aux maladies d'origine hydrique dans le bassin versant de la rivière Kalamu. Cette relation a également été observée par Yalobali (2023), qui rapporte que les maladies hydriques, notamment la typhoïde, le choléra et les autres maladies liées à l'eau, représentent plus de la moitié des conséquences sanitaires des inondations dans la province de la Tshopo. Les conclusions du PNUE (2016) concernant les inondations de Kasangulu vont dans le même sens, en montrant une augmentation significative des maladies hydriques après les épisodes de crue.

V. CONCLUSION

La présente étude a permis de mettre en évidence la forte vulnérabilité du bassin versant de la rivière Kalamu aux inondations ainsi que leurs conséquences environnementales, socio-économiques et sanitaires dans la ville de Boma. Les résultats montrent que l'urbanisation anarchique, la croissance démographique, l'occupation des zones

inondables, l'insuffisance des infrastructures de drainage et le manque d'entretien du réseau d'évacuation des eaux pluviales constituent les principaux facteurs responsables des inondations récurrentes observées dans la ville. L'obstruction des caniveaux par les déchets ménagers, la dégradation des ouvrages hydrauliques et l'obsolescence du système de drainage réduisent considérablement la capacité d'évacuation des eaux de ruissellement, aggravant ainsi les risques lors des fortes précipitations.

Cette situation expose durablement les populations à des pertes humaines, à la destruction des habitations, aux dégâts causés aux infrastructures publiques et privées ainsi qu'à une grande insécurité sociale. Les habitants vivant à proximité de la rivière Kalamu demeurent dans une situation permanente de vulnérabilité, particulièrement pendant les épisodes de pluies intenses, où la crainte des inondations devient une préoccupation quotidienne.

Au-delà des dommages matériels, cette recherche met également en évidence les importantes conséquences sanitaires des inondations. Les débordements de la rivière Kalamu et des réseaux d'assainissement favorisent la contamination des puits, des sources et des eaux de consommation par les eaux usées et les matières fécales. Cette contamination contribue à la propagation des maladies d'origine hydrique, notamment la fièvre typhoïde, les diarrhées simples, les diarrhées avec déshydratation, les diarrhées avec déshydratation sévère ainsi que l'amibiase, dont les fréquences demeurent élevées dans plusieurs aires de santé de Boma. Ces maladies traduisent les insuffisances persistantes en matière d'approvisionnement en eau potable, d'assainissement et d'hygiène, tout en confirmant le lien étroit entre les inondations, la dégradation de l'environnement urbain et la santé publique.

L'analyse prospective réalisée dans cette étude montre que, si les tendances actuelles de l'urbanisation et de la gestion du bassin versant se poursuivent, les risques d'inondation pourraient s'étendre davantage, entraînant une aggravation des impacts environnementaux et une augmentation du risque de maladies d'origine hydrique. Les cartes de vulnérabilité produites constituent ainsi un outil d'aide à la décision permettant d'identifier les zones les plus exposées et de mieux orienter les politiques d'aménagement urbain, de prévention des catastrophes et de protection sanitaire.

Face à ces défis, une gestion intégrée du bassin versant de la rivière Kalamu apparaît indispensable. Celle-ci devrait combiner des infrastructures grises (digues, canaux de drainage, bassins de rétention, ouvrages hydrauliques) et des infrastructures vertes (restauration des zones humides, reboisement, protection des berges, espaces naturels d'expansion des crues) afin de réduire durablement le

ruissellement, de ralentir les écoulements et de limiter les inondations. Parallèlement, un programme permanent de curage des caniveaux, de collecte des déchets solides, de réhabilitation des réseaux de drainage et de contrôle de l'occupation des zones inondables est indispensable.

La réduction des maladies d'origine hydrique passe également par le renforcement des infrastructures d'approvisionnement en eau potable, l'amélioration des systèmes d'assainissement, la protection des points d'eau contre les contaminations, le développement de la surveillance épidémiologique et la mise en œuvre de campagnes continues de sensibilisation sur l'hygiène individuelle, familiale et communautaire. Une meilleure coordination entre les autorités locales, les services de santé, les structures d'assainissement, les organismes de gestion de l'environnement et les communautés locales demeure essentielle pour renforcer la résilience de la ville face aux inondations et aux risques sanitaires associés.

REFERENCES

1. Agada, S. & Nirupama, N. (2015). A serious flooding event in Nigeria in 2012 with specific focus on Benue State: a brief review. *Nat. Hazards* 77, 1405–1414.
2. Anache, J.A.A., Flanagan D.C., Srivastava, A., & Wendland, E.C. (2018). Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado”, *Sci. Total Environ.*, 622-623,
3. Alla, A.D., Atta, K. J.M. & Yassi, G. A. (2018). « Les risques naturels et leurs manifestations dans une ville secondaire : érosion et inondation à Daloa (centre-ouest de la Côte d'Ivoire) », *Géotrope, Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 1, Abidjan, EDUCI.
4. Banque Africaine de Développement. (2017). Aide humanitaire d'urgence aux populations victimes des désastres causés par des pluies dans la ville de Boma. Rapport de la mission, 1-5 p.
5. Baudet, D. M., Fernandez-Alonso, M., Kant, K. F., Tack, L., Theunissen, K., Dewaele, S., Eekelers, K., Kadja, G., Mujinga, E., Nseka, P., Phambu, J., Kitambala, N., Kongota, E., Matungila, J., Muanza, M. & Tshibwabwa, A.M., (2013). Notice explicative de la carte géologique de la Province du Bas-Congo et Carte géologique à l'échelle du 1/500.000, Version 1.0, MRAC (Belgique) – CRGM (R.D. Congo), 50
6. Birane, C., Quensièrre, J., & Kane, A., 2018. Vulnérabilisation ou résilience des banlieues insalubres de Dakar, *Mondes en Développement*, 46(18), 131-146.
7. Bruckmann, L., Amanejieu, A., Maurice, O., Zogning, M., & Pierre, O. (2019.) Analyse géohistorique de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondation et de sa gestion dans la zone urbaine de Douala (Cameroun) *Revue, Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, pp. 91 - 113.
8. Colman, C. B., Oliveira, P., Tarso, S. & Almagro, A., (2019). « Effets des changements climatiques et de couverture terrestre sur l'érosion des sols dans le Pantanal brésilien ». *Sustainability*, 11, 24, p. 7053. doi:10.3390/su11247053 DOI : [10.3390/su11247053](https://doi.org/10.3390/su11247053)
9. Communauté Métropolitaine de Montréal., 2021. L'approche de gestion des inondations par le risque, <https://cmm.qc.ca/projets/résilience-aux-inondations/>, consulté le 15 septembre 2021 à 14:53, 2 p.
10. Diemo, S., Mukonkole, M. P., Ndumba, D.R., Kazadi, M.S., Nsakala, T. R. A., Kahindo, K. D., Kra, A & Ngumba, N.V., 2023. Etude géologique des formations situées entre les Villages Manterne et Luki (Province du Kongo Central, RD Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 38(4), 999-1010.
11. Diongue, M. (2014). Périphérie urbaine et risques d'inondation à Dakar (Sénégal) : le cas de Yeumbeul Nord. *ESO Travaux et Documents*, vol. 37, p. 4554.
12. Douglas, I., Alam, K., & Maghenda, M. (2008). Unjust waters: climate change, flooding and the urban poor in Africa”, *Environment and urbanization*, 20(1), 187-205.
13. D'Ercole, R., 2014. « Vulnérabilité : vers un concept opérationnel ? » Colloque international Connaissance et compréhension des risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion, 33 p.
14. Goffin, C. (2016). Apport de la géomatique dans la modélisation d'un écoulement en région urbaine en 2D à l'aide de logiciels de SIG. Master en sciences géographiques, Orientation Géomatique et Géométrologie, Université de Liège, URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/1594>, 114 p.

15. Gustave, Y., & Bolene, V. (2023). Pouvoirs publics et gestion des inondations à Kisangani dans la province de la Tshopo EN RDC. *Global Research Review in Business and Economics [GRRBE]*, Volume 09, Issue 03, pp. 44-55.
16. GFDRR (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery). 2014. Sénégal : inondations urbaines. Le relèvement et la reconstruction à partir de 2009. Cadre de relèvement post-inondations au Sénégal, série d'études de cas GFDRR, Bruxelles, Belgique, 27 p.
17. Houessinon, D., Roméo, B., Tchibozo, E., Alain, M., & Vissin, E. W. (2023). Modélisation prospective du risque d'inondation à l'horizon 2060 dans la municipalité d'Abomey-Calavi au Sud-Bénin. *Revue Internationale du chercheur* 4(2), 45-56.
18. Houessinon, D. R. B., Tchibozo, E. A. M., Vissin E. W. & Ognondoun A. (2022). Cartographie du risque d'inondation dans l'Agglomération urbaine du Grand Nokoué au Bénin : SIG et Approche Multicritère. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 39, 266-233.
19. Kangah, A., & Alla, D. A., (2015). Détermination des zones à risque d'inondation à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et du système d'information géographique (SIG) : Cas du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie (commune de Cocody, Côte d'Ivoire). *Geo-Eco-Trop.*, 39, 297-308.
20. Kinakpefan, M. T. (2023). Evaluation du risque d'inondation par intégration du SAGA Wetness Index (SAGAWI) et de l'Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) : cas du District Autonome d'Abidjan, Belgeo, pp:1-23.
21. Lelo, N. F. (2011). Kinshasa-Planification et aménagement, édition. L'Harmattan, RDC.
22. Lepersonne, J., 1974. Carte géologique du Zaïre au 1/2000.000 et Notice explicative – République du Zaïre, Département des mines, Direction de la Géologie, Kinshasa.
23. Li, W., MacBean, N., Ciais, P., Defourny, P., Lamarche, C., Bontemps, S., Houghton, R.A. & Peng, S. (2018). Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992–2015). *Earth Syst. Sci. Data* 10, pp.219-234.
24. Maillot, M., Flipo, A., Rivière, N., Desassis, D., Renard, P., Goblet, & Vincent, M., 2019. Technical note: Water table mapping accounting for river-aquifer connectivity and human pressure. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 2019, pp. 1-21.
25. Mesnage, C., (2021). Étude de la vulnérabilité de l'agriculture manchoise face aux risques de débordement de nappe et de submersion marine dans un contexte de changement climatique. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03549086>
26. Mbuangi, L. M., & Ntoto, M. 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*, VI (1), pp. 52-61.
27. Odjugo, P.A.O. (2012). Valuing the cost of environmental degradation in the face of changing climate: Emphasis on flood and erosion in Benin City, Nigeria. *African J. Environ. Sci. Technol.* 6, 17–27.
28. Ouikotan, R.B., Der Kwast, J.V., Mynett, A. & Afouda, A. (2017). Gaps and challenges of flood risk management in West African coastal cities, in: *Proceedings of the XVI World Water Congress, Cancun Quintana Roo*.
29. Ozer, P., Ould, S., Cheikh, M.A., & Ozer, A. (2014). Etalement urbain et vulnérabilité croissante face au risque d'inondation : l'exemple de Nouakchott (Mauritanie). Available at: [https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/170074/1/Coll oqueAFGP-Ozer%20et%20al3- 20140630.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/170074/1/Coll%20oq%20AFGP-Ozer%20et%20al3-20140630.pdf)
30. 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.
31. Provitolo, D. (2007). « Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain : une nouvelle démarche géographique », *Annales de géographie*, 653, pp. 23-40, doi: 10.3917/ag.653.0023

32. Simonneaux, V., Cheggour, A., Deschamps, C., Mouillot, F., Cerdan, O. & LE, Bissonnais, Y., (2015). "Land use and climate change effects on soil erosion in a semi-arid mountainous watershed (High Atlas, Morocco)", *J. Arid Environ.*, 122, 64-75.
33. Stever Construct., (2023). Rapport technique de prospection hydrogéophysique et de réalisation de deux premiers forages dans la ville de Boma/Kongo – Central, RDC. p, 17.
34. Tack, L., Wingate, M.T.D., Liegeois, J.P., Fernandez-Alonso, & Deblond, A., 2001. «Early Neoproterozoic magmatism (1000-910 Ma) of the Zadinian and Mayumbian Groups (Bas-Congo): onset of Rodinia rifting at the western edge of the Congo craton». *Precambrian Research*, 110, pp.277-306.
35. Tack, L., Kanda, N. V., Kanika, M. T., Mpiana, K. C., Cibambula, M. E., Mpoyi, K. J. K., & Franceschi, G., 2004. Guide Book to the field trip in the Pan African West Congo belt of the Bas-Congo region (Democratic Republic of the Congo) - in 3rd Annual International Conference.
36. Traore, K., M. (2016). Analyse des vulnérabilités de la ville côtière de San-Pedro (sud-ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Géographie, Université Felix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, 355 p.
37. Urbamonde (urbaniste sans frontière). (2009). Programme de mitigation des inondations de Thiaroye, dossier diagnostic, Genève, 47 p.
38. Vuni, S. A., Mubanga, N., Ayum. G., Masiala, B. M., Kisangala, M. M., Lelo, N. F. & Nzau, U. di M., C. (2025). Bassin versant de la rivière Kalamu à Boma : Un écosystème menacé en quête d'un contrat de rivière pour la gestion participative des ressources en eau, *European Journal of Social Sciences*, 10,44-67.
39. Vuni, S. A., Puela, P. F., Kisangala, M. M., Lelo, N. F., Masiala, B. M., Aloni, K. J. & Nzau Umba Mbudi C. (2025). Dynamique de la déforestation et ses conséquences dans le bassin versant de la rivière Kalamu à Boma (Kongo central, RD Congo), *Bulletin de la Société Géographique de Liège BSGLg*, n° 84, pp.1-14.
40. Vuni, S.A., Aloni, K.J., Mabiala, M. P., Kisangala, M. M., Lelo, N. F., & Nzau Umba di Mbudi, C., (2024). Diagnostic hydro-qualitatif des eaux du bassin versant de la rivière Kalamu à Boma, Kongo Central, République Démocratique du Congo, *European Journal of Social Sciences*, 5, 131-147.
41. Vuni, S. A., Kisangala, M. M., Puela, P. F., Lelo, Nzuzi. F., Koy, K. R., Aloni, K. J., Malaise, F. & Nzau, U. di M. 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 : pp. 203-216.
42. Vuni, S. A., Aloni, K. J., Lelo, N. F., & Nzau, U. di M., 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.
43. Vuni, S. A., Pangu, S. S., Puela, P. F., Lelo, N. F., Koy, K. R., Malaise, F., Aloni, K. J., & Nzau, d. M. 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.
44. 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, N°1, pp. 56-57.
45. 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, pp. 4-20.