



Pollution des eaux de surface : impacts sur les activités humaines et les dynamiques environnementales dans la province du Sud-Kivu (RDC) (Synthèse bibliographique)

Guillaume Matabaro Rubanza ^{1*}, Bagalwa Mashimango ², Katcho Karume³

⁽¹⁾Institut Supérieur d'Agroforesterie et de Gestion de l'Environnement de Kahuzi-Biéga (ISAGE-KB, Sud-Kivu) (RDCongo). E-mail : guillaumematabaro@gmail.com

⁽²⁾Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro, Département de Biologie (Bukavu) (RDC)

⁽³⁾Université Evangélique d'Afrique (UEA/Bukavu). Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. BP 3323 Bukavu (RDC).

Reçu le 14 mai 2026, accepté le 22 juin 2026, publié en ligne le 27 juin 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i2.68>

RESUME

Introduction. En République Démocratique du Congo (RDC), la pollution des eaux de surface est une problématique majeure exacerbée par l'urbanisation accélérée, l'expansion agricole et l'insuffisance des systèmes d'assainissement.

Littérature. Cette revue analyse les interactions entre les activités humaines et les dynamiques environnementales. La méthodologie repose sur une analyse critique d'études traitant de la qualité des eaux et des risques associés. Les données révèlent que les rejets d'eaux usées (domestiques, industrielles et hospitalières), les intrants agricoles et les déchets solides dégradent les milieux aquatiques sans traitement préalable. Cette contamination altère les paramètres physico-chimiques, provoque l'eutrophisation et perturbe les chaînes trophiques. Les risques sanitaires sont aggravés par la consommation d'eau non potable et de ressources biologiques contaminées (poissons et cultures de marais), augmentant la vulnérabilité des communautés riveraines. L'étude souligne une gouvernance défaillante et un manque de contrôle environnemental.

Conclusion. Il est important de renforcer les politiques de gestion intégrée des ressources en eau, particulièrement au Sud-Kivu, en s'appuyant sur des données scientifiques fiables et une implication des acteurs locaux pour garantir la durabilité des écosystèmes.

Mots-clés : Pollution hydrique, pressions anthropiques, écosystèmes aquatiques, santé publique, RDC.

ABSTRACT

Surface water pollution: impacts on human activities and environmental dynamics in South Kivu province (DRC) (A review)

Introduction. In the Democratic Republic of the Congo (DRC), surface water pollution is a major issue exacerbated by rapid urbanization, agricultural expansion, and inadequate sanitation systems.

Literature. This review analyzes the interactions between human activities and environmental dynamics. The methodology is based on a critical analysis of studies addressing water quality and associated risks. Data reveal that wastewater discharges (domestic, industrial, and hospital), agricultural inputs, and solid waste degrade aquatic environments without prior treatment. This contamination alters physico-chemical parameters, triggers eutrophication, and disrupts food chains. Health risks are heightened by the consumption of non-potable water and contaminated biological resources (fish and marsh crops), increasing the vulnerability of riparian communities. The study highlights failing governance and a lack of environmental monitoring.

Conclusion. It is essential to strengthen integrated water resource management policies, particularly in South Kivu, by relying on reliable scientific data and the active involvement of local stakeholders to ensure ecosystem sustainability.

Keywords: Water pollution, anthropogenic pressures, aquatic ecosystems, public health, DRC.

1. INTRODUCTION

L'eau constitue une ressource essentielle à la vie, tant pour les besoins fondamentaux des populations humaines que pour le bon fonctionnement des écosystèmes naturels (Baechler, 2012). Sa disponibilité ne dépend pas uniquement de sa quantité, mais surtout de sa qualité. En effet, la pollution des eaux de surface, telles que les lacs, les rivières, etc., est étroitement liée aux usages anthropiques et aux activités environnantes (OMS, 2017).

À l'échelle mondiale, la dégradation continue de la qualité de l'eau est entraînée par plusieurs facteurs, notamment le rejet d'eaux usées non traitées, le ruissellement agricole chargé de produits chimiques et les effluents industriels mal épurés. Selon le WWAP (2017), la persistance de ces tendances laisse présager des conséquences de plus en plus dénoncées sur la santé publique, les écosystèmes et le développement durable, particulièrement dans les pays à faibles ressources d'Afrique subsaharienne.

La pollution des eaux de surface se manifeste par la présence de contaminants physiques, chimiques ou biologiques susceptibles d'altérer la qualité de l'eau et d'en limiter les usages. Elle peut être d'origine ponctuelle (rejets industriels, décharges, etc.) ou diffuse (agriculture, ruissellement urbain, érosion...). Ses impacts sont multiples: la détérioration de la santé humaine, l'appauvrissement des écosystèmes aquatiques, la perte de biodiversité et la réduction de la disponibilité en eau potable (Conrad *et al.*, 2018 ; Mirauda & Ostoich, 2018). À cela s'ajoutent des phénomènes naturels tels que les inondations, l'érosion, les dépôts atmosphériques ou les événements climatiques extrêmes qui participent également à l'altération des eaux (Musibono, 2012).

Les principales menaces mondiales incluent l'eutrophisation, la contamination par les métaux lourds, la prolifération d'agents pathogènes, ainsi que l'émergence de polluants comme les microplastiques et les résidus pharmaceutiques (Koelmans *et al.*, 2021 ; Wright et Kelly, 2017 ; Tchounwou *et al.*, 2012). Les rivières, en particulier, jouent un rôle central dans le cycle hydrologique et le drainage des bassins versants, ce qui les rend vulnérables aux pressions provenant des zones densément peuplées et intensivement cultivées (Dudgeon *et al.*, 2006).

En Afrique subsaharienne, ces enjeux sont amplifiés par une croissance démographique galopante, une urbanisation non maîtrisée, un déficit d'infrastructures d'assainissement et une gouvernance environnementale souvent défaillante. En République Démocratique du Congo (RDC), bien que le pays dispose de vastes ressources

hydriques, la pollution des eaux de surface représente une menace sérieuse. Les principaux facteurs identifiés sont les rejets domestiques non traités, les effluents industriels, les déchets médicaux, les résidus miniers et les pratiques agricoles non durables (Gizanga *et al.*, 2016 ; Kaybola, 2020). Cette situation est alarmante dans les grandes agglomérations telles que Kinshasa, Bukavu, etc., où la gestion des déchets demeure insuffisante (Musibono, 2012). Dans plusieurs villes, ces résidus sont directement déversés dans les cours d'eau sans traitement préalable, entraînant une dégradation des milieux aquatiques et des risques sanitaires accrus pour les populations riveraines (Bagalwa *et al.*, 2013 ; Kaybola, 2020).

Face à cette problématique, la communauté scientifique et les institutions internationales appellent à une gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), incluant la surveillance et la régulation des rejets (Roche, 2003). En RDC, l'absence de données fiables et actualisées constitue un obstacle majeur à la mise en œuvre de politiques publiques efficaces, compromettant les progrès vers les Objectifs de Développement Durable (World Bank, 2024). Au Sud-Kivu, les rivières Murundu, Lwiro, Cirhanyobowa, Tshula, Weshia et Nyabaronga principaux affluents du lac Kivu illustrent parfaitement cette crise (Bagalwa *et al.*, 2013, 2015, 2016). La rivière Murundu, par exemple, subit les pressions combinées de l'urbanisation, d'une agriculture non encadrée et de pratiques minières artisanales (Mudekereza *et al.*, 2021).

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente revue de la littérature. Son objectif est d'analyser les connaissances existantes sur la pollution des eaux de surface et ses impacts, en mettant l'accent sur la situation en RDC et plus spécifiquement dans la province du Sud-Kivu. Une attention particulière est accordée aux rivières de cette région, révélatrices des interactions complexes entre dynamiques environnementales et pressions anthropiques en contexte tropical.

L'intérêt scientifique d'une recherche bibliographique portant sur la pollution des eaux de surface, en particulier dans un contexte comme celui de la province du Sud-Kivu en République Démocratique du Congo, est multiple et s'inscrit à la fois dans une logique de production de connaissances, d'appui à la gestion environnementale et de compréhension des interactions socio-écologiques. Dans un contexte où les données scientifiques sont souvent fragmentaires, dispersées ou difficilement accessibles, la présente synthèse bibliographique contribue à centraliser l'information disponible, à identifier les tendances générales et à mettre en

évidence les lacunes de la recherche. Cela constitue une base essentielle pour orienter les futures investigations scientifiques, notamment dans des zones encore peu documentées comme certaines rivières du Sud-Kivu.

2. METHODOLOGIE

La méthodologie adoptée pour cette synthèse bibliographique repose sur une démarche systématique d'identification, de sélection et d'analyse critique des études scientifiques nationales et internationales portant sur la pollution des eaux de surface, ses sources, ses impacts écologiques et ses risques sanitaires. Dans un premier temps, une recherche documentaire approfondie a été effectuée à partir de bases de données scientifiques reconnues telles que Web of Science, Scopus, PubMed et Google Scholar, en utilisant des mots-clés combinés tels que « pollution des eaux de surface », « qualité de l'eau », « contaminants », « impacts écologiques », « risques sanitaires » et « Sud-Kivu » ou « Afrique subsaharienne ». Les critères d'inclusion ont concerné les articles publiés principalement entre 2000 et 2025, les rapports d'organisations internationales (OMS, PNUE, FAO) ainsi que les études locales pertinentes réalisées en République Démocratique du Congo. Les documents non pertinents, redondants ou ne présentant pas de rigueur scientifique ont été exclus conformément aux principes des revues systématiques (Kitchenham, 2004 ; Snyder, 2019).

Dans un second temps, les études retenues ont fait l'objet d'une analyse critique basée sur leur qualité méthodologique, notamment les approches d'échantillonnage, les paramètres physico-chimiques et biologiques analysés (pH, conductivité, oxygène dissous, nutriments, métaux lourds, indicateurs microbiologiques), ainsi que les méthodes d'interprétation des résultats. Une attention particulière a été accordée à l'identification des sources de contamination (domestiques, agricoles, industrielles et minières) et à l'évaluation de leurs effets sur les écosystèmes aquatiques, notamment à travers des indicateurs biologiques tels que les macroinvertébrés benthiques (Bonada *et al.*, 2006 ; Morse *et al.*, 2007). Par ailleurs, les impacts sur les activités humaines et les risques sanitaires ont été examinés en tenant compte des liens entre la qualité de l'eau, la prévalence des maladies hydriques et les usages socio-économiques de l'eau (WHO, 2017 ; Prüss-Ustün *et al.*, 2019).

Enfin, les résultats issus de cette analyse ont été synthétisés de manière thématique afin de dégager les tendances générales, les convergences et divergences entre les études, ainsi que les lacunes de connaissances spécifiques au contexte du Sud-Kivu. Cette approche comparative a permis de mettre en évidence les interactions entre les

pressions anthropiques et les dynamiques environnementales, tout en intégrant les spécificités locales dans une perspective globale de gestion durable des ressources en eau. L'ensemble de la démarche s'inscrit dans une logique de revue narrative structurée, permettant d'apporter une compréhension approfondie et critique du phénomène étudié (Grant & Booth, 2009).

3. POLLUTION DES EAUX

3.1. Pollution des eaux de surface dans le monde et en Afrique

La pollution des eaux de surface, en particulier celle des rivières, constitue aujourd'hui l'un des défis majeurs pour la gestion durable des ressources en eau à l'échelle mondiale. Elle résulte principalement des activités humaines, combinées à des facteurs naturels, et met en péril les écosystèmes aquatiques, la santé publique ainsi que le développement socioéconomique. Deux formes principales de pollution sont distinguées : la pollution ponctuelle, émise par des sources identifiables comme les stations d'épuration ou les installations industrielles, et la pollution diffuse, issue du ruissellement agricole, des eaux urbaines ou atmosphériques, beaucoup plus difficile à maîtriser (Nguyen *et al.*, 2018). Les perturbations environnementales dues aux activités anthropogéniques se multiplient dans de nombreuses régions du globe et entraînent diverses pollutions des eaux. Ces pollutions sont importantes et causent un grand problème régional et local de santé publique.

Les impacts de ces pollutions sur les cours d'eau sont multiples. Les apports excessifs de nutriments (notamment l'azote et le phosphore) issus principalement des engrais agricoles, des effluents domestiques et des eaux usées non traitées favorisent l'eutrophisation, réduisant l'oxygène dissous dans l'eau et perturbant l'équilibre biologique. De plus, les polluants émergents comme les résidus pharmaceutiques, les microplastiques et les produits chimiques industriels altèrent gravement les fonctions écologiques des milieux aquatiques (Loubet et Bouisset, 2025). Ce phénomène engendre une prolifération d'algues, une baisse de la concentration en oxygène dissous, la mortalité de certaines espèces aquatiques et la réduction de la biodiversité (Jenkins et Greenway, 2007).

D'autres polluants, tels que les métaux lourds notamment le mercure, le plomb et le cadmium ainsi que les composés organiques de synthèse comme les pesticides et les plastiques, suscitent une inquiétude particulière en raison de leur faible biodégradabilité et de leur propension à s'accumuler le long des chaînes alimentaires aquatiques. Ces substances peuvent non seulement perturber l'équilibre écologique des milieux aquatiques, mais

également affecter la santé des organismes et des populations humaines dépendant de ces ressources (Pal *et al.*, 2024). Selon Landrigan *et al.* (2018), la pollution de l'eau est devenue aussi préoccupante que la pollution de l'air en tant que facteur de dégradation de l'environnement à l'échelle globale. Elle plaide pour une gouvernance renforcée des ressources en eau, une surveillance accrue et des investissements soutenus dans les infrastructures d'assainissement.

La qualité de l'eau des rivières dépend d'une interaction complexe entre les facteurs climatiques, hydrologiques, anthropiques et socioéconomiques. Ces milieux fluviaux, essentiels à la biodiversité et au bien-être humain, sont aujourd'hui parmi les plus exposés à la dégradation. Dans un contexte mondial marqué par le changement climatique, la croissance démographique rapide et la perte de biodiversité, la préservation des eaux de surface devient un enjeu stratégique. Entre 1900 et 2000, la demande mondiale en eau a été multipliée par sept, alors que la population mondiale n'a été multipliée que par quatre (Gleick, 2003). Cette pression croissante, surtout dans les pays en développement, accentue les risques liés à la pollution. Ces perturbations affectent la capacité des écosystèmes aquatiques à s'auto-épurer, aggravant la concentration des polluants et compromettant la résilience des habitats. De plus, la hausse de la température favorise l'évaporation et réduit les volumes d'eau disponibles, ce qui accroît la concentration des substances toxiques dans les milieux aquatiques.

Dans les zones fortement anthropisées comme celles autour de la rivière Murundu, les impacts combinés des activités humaines et des variations climatiques peuvent se traduire par une synergie négative (Dudgeon, 2000). En effet, l'érosion des sols intensifiée par la déforestation et les pratiques agricoles non durables augmente le ruissellement des polluants vers les rivières. La diminution de la couverture végétale rend les bassins versants plus vulnérables aux inondations, entraînant un lessivage massif des polluants vers les plans d'eau (Bruijnzeel, 2004). Ces effets cumulés réduisent considérablement la qualité écologique des écosystèmes aquatiques et la disponibilité de l'eau potable (Sifa *et al.*, 2024).

En Afrique subsaharienne, la problématique de la pollution des eaux de surface est particulièrement aiguë. La région est confrontée à un stress hydrique chronique, non seulement en termes de quantité disponible, mais aussi en termes de qualité de l'eau. Plus de 300 millions de personnes y vivent sans accès à une source d'eau potable améliorée, ce qui représente plus d'un tiers de la population du continent (OMS & UNICEF, 2021). Cette vulnérabilité hydrique est exacerbée par la faiblesse des infrastructures d'assainissement, l'urbanisation

anarchique et l'insuffisance des politiques de gestion intégrée de l'eau.

Les rivières africaines subissent une contamination croissante, provenant de rejets domestiques non traités, d'effluents agricoles chargés en pesticides et en engrais, de pollutions industrielles non maîtrisées, et des activités minières artisanales, souvent informelles et peu régulées (Blanchon & Casciarri, 2018 ; UNESCO, 2023). Ces pollutions sont à l'origine de nombreuses maladies hydriques telles que le choléra, la typhoïde, la bilharziose, qui touchent gravement les populations rurales et urbaines pauvres (Odonkor & Mahami, 2025).

Les rejets domestiques dans les rivières proviennent d'activités quotidiennes telles que la lessive, la vaisselle, la toilette, ou encore l'évacuation des excréments et des urines. Ces eaux usées, souvent chargées en matières organiques et en agents pathogènes, sont déversées sans traitement préalable, accentuant la contamination microbiologique des milieux aquatiques (Bempongo, 2002).

La pollution industrielle, quant à elle, est liée à la présence de métaux lourds, de solvants, de colorants, et de substances toxiques provenant des eaux de lavage, des procédés chimiques inachevés ou des produits de dégradation. Certaines industries rejettent dans les cours d'eau des éléments hautement toxiques comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) ou le sélénium (Se), reconnus pour leurs effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement (Faisal *et al.*, 2014 ; Gizanga *et al.*, 2016).

Les activités agricoles et forestières sont également à l'origine d'importants apports de polluants. Les pesticides (herbicides, fongicides, insecticides), les produits vétérinaires et les engrais azotés ou phosphatés utilisés de manière intensive contaminent les eaux de ruissellement et, par infiltration, les eaux souterraines (Abdu, 2010 ; Zhang *et al.*, 2010 ; Amlan *et al.*, 2012). L'usage d'eaux de rivière polluées pour l'irrigation des cultures maraîchères ou des rizières constitue une source indirecte de pollution alimentaire (Patel *et al.*, 2016 ; WWAP, 2017). Toutefois, dans certains cas, les propriétés physico-chimiques des sols peuvent limiter la mobilité de ces contaminants en les piégeant, ce qui réduit leur phytodisponibilité (Ayinde, 2015 ; Bidar *et al.*, 2017).

Outre ces sources classiques, les rivières sont aussi polluées par les déchets issus d'installations collectives telles que les hôpitaux, écoles, marchés, hôtels, casernes ou fontaines publiques. De plus, les pratiques d'incivisme de certains riverains contribuent à la dégradation des milieux aquatiques par le rejet direct d'ordures ménagères et de déchets solides (plastiques, métaux, appareils usagés,

céramiques, etc.) dans les cours d'eau (Calvet *et al.*, 2005 ; Cunningham *et al.*, 2009). Ces déchets libèrent parfois des substances toxiques comme les chlorofluorocarbones, les radionucléides ou encore des composés métalliques lourds. Le mercure métallique, par exemple, peut être transformé en méthylmercure, une forme hautement toxique, par l'action des bactéries benthiques (Aka, 2002).

En somme, la pollution des eaux de surface en Afrique est un phénomène complexe, multidimensionnel et croissant. Elle résulte d'un enchevêtrement de causes anthropiques et institutionnelles, aggravées par la pauvreté, l'absence de traitement des effluents et la croissance démographique. Pour faire face à cette crise, il est impératif de mettre en place des politiques intégrées, de renforcer les capacités locales en matière de traitement des eaux usées, d'encourager les pratiques agricoles durables et de promouvoir une éducation environnementale adaptée aux contextes locaux.

3.2. Pollution des rivières de la République Démocratique du Congo et au Sud-Kivu

La République Démocratique du Congo (RDC), malgré son immense richesse en ressources hydriques (près de 52 % des réserves d'eau douce d'Afrique subsaharienne), fait face à une problématique aiguë de pollution des eaux de surface. Ce paradoxe se traduit par une situation dans laquelle l'abondance de l'eau ne garantit ni l'accès sécurisé à une eau de qualité pour la majorité de la population, ni la préservation des écosystèmes aquatiques. Selon le Bureau de la coordination des affaires humanitaires (UN OCHA, 2021), à peine 26 % de la population congolaise a accès à une eau potable salubre, bien en deçà de la moyenne régionale. Cette situation alarmante s'explique par une combinaison de facteurs, notamment le déficit d'infrastructures d'assainissement, l'urbanisation rapide et non planifiée, les conflits armés persistants, l'insuffisance d'investissements publics, et une gouvernance environnementale défaillante.

Dans les milieux urbains, particulièrement à Kinshasa et à Bukavu, les rivières remplissent des fonctions de dépotoirs naturels pour les déchets liquides et solides issus des ménages, des industries et des structures hospitalières (Bagalwa *et al.*, 2013 ; Munguakonkwa *et al.*, 2025). À Kinshasa, des cours d'eau tels que la Lukunga, la Funa, la N'djili, la Kalamu, la Makelele ou la Gombe sont largement pollués par des effluents domestiques non traités, des déchets biomédicaux, des produits chimiques industriels, et des boues issues de fosses septiques (Ilunga *et al.*, 2013). Ces rejets se font souvent sans traitement préalable, accentuant la contamination chimique et microbiologique des milieux aquatiques. Le phénomène est aggravé par l'usage direct des rivières comme latrines en

l'absence d'installations sanitaires adéquates. Les conséquences de cette gestion inadéquate sont multiples : accumulation de métaux lourds, prolifération de pathogènes, détérioration de la qualité de l'eau et altération des fonctions écologiques des rivières.

À Bukavu, la situation est similaire, bien que le contexte géographique y soit encore plus fragile, les rivières urbaines telles que la Kahuwa, la Tshula, la Mpungwe, la Weshu et la Nyamuhinga sont soumises à des pressions croissantes. Les activités domestiques intensives, les rejets artisanaux, le lessivage des sols cultivés en pente, ainsi que l'enfouissement de déchets solides, contribuent à une pollution persistante. Des analyses de la qualité de l'eau ont révélé une dégradation sévère de ses paramètres physico-chimiques, accompagnée d'une forte baisse de la biodiversité. Ainsi, des études comparatives entre la Kahuwa (zone urbaine) et la Mpungwe (zone semi-urbaine) ont montré une nette réduction de la richesse spécifique des macroinvertébrés benthiques dans la première, preuve d'un stress écologique intense (Zirirane *et al.*, 2014). Des études menées par Bisimwa *et al.* (2014 ; 2022) ainsi que Lina *et al.* (2015) ont mis en évidence que les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, combinés aux phénomènes d'érosion des sols amplifiés par le ruissellement intense et les pratiques agricoles inadéquates, contribuent de manière significative à l'enrichissement en nutriments des affluents du lac Kivu. Toutefois, les zones urbaines, incluant les quartiers résidentiels, les espaces commerciaux et industriels, ainsi que les infrastructures comme les routes et parkings, ont été identifiées comme les principales sources de charge nutritive dans les rivières. Cette forte contribution urbaine pourrait s'expliquer par l'influence conjointe de pollutions ponctuelles (issues d'un point de déversement identifiable) et diffuses (résultant de multiples petites sources dispersées dans l'environnement), comme l'ont également souligné Ding *et al.*, (2015).

Les effets cumulatifs de cette pollution se répercutent jusqu'au lac Kivu, récepteur final des flux polluants issus des micro-bassins versants de Bukavu. Les analyses menées par Bagalwa *et al.* (2013) indiquent une augmentation des charges en nutriments (notamment azote total et phosphore total), favorisant les phénomènes d'eutrophisation. Des indices de pollution organique appliqués à plusieurs rivières (Weshu, Tshula, Bwindi et Kahuwa) ont révélé des niveaux de pollution préoccupants, mettant en danger les usagers de ces eaux pour des besoins aussi fondamentaux que la boisson, la lessive ou la cuisine (Karume *et al.*, 2016). Ces eaux présentent également des concentrations inquiétantes en *Escherichia coli*, marqueurs d'une contamination fécale chronique.

En dehors des zones urbaines, les rivières des milieux ruraux du Sud-Kivu ne sont pas épargnées. Les populations dépendent directement de ces ressources pour leurs besoins quotidiens, mais elles subissent également une contamination biologique, chimique et physique. Des recherches menées sur les rivières Idanta, Kamira et Nyabarongo montrent des niveaux élevés de matières en suspension, de nutriments et de bactéries pathogènes, notamment dans les zones à forte activité agricole ou pastorale (Bagalwa *et al.*, 2016). L'évaluation de la qualité de l'eau à différents sites (Kabirikarhaba, Cabwine-Mwami et Ceshero) montre que les sites urbains et agricoles sont plus pollués que les zones forestières, restées relativement préservées. Les analyses bioécologiques basées sur les macroinvertébrés ont permis de détecter des déséquilibres importants, avec une domination des espèces tolérantes à la pollution comme les oligochètes ou les chironomidés.

Parmi les sources majeures de pollution, l'activité minière artisanale occupe une place centrale (Mudekereza *et al.*, 2021). Dans plusieurs territoires du Sud-Kivu, l'extraction artisanale de l'or ou du coltan utilise des substances toxiques telles que le mercure, qui est rejeté dans les rivières sans contrôle. Les rejets de la mine de Twangiza en sont un exemple emblématique, ayant affecté durablement la qualité de l'eau et la santé des populations avoisinantes. Ces métaux lourds, une fois intégrés dans les écosystèmes aquatiques, posent des problèmes graves de bioaccumulation dans les organismes vivants, augmentant les risques de toxicité chronique pour l'homme et la faune (Mudekereza *et al.*, 2021).

Un autre enjeu majeur concerne la pollution des sédiments. En raison de l'érosion accrue liée à la déforestation, au défrichage et à l'agriculture sur les pentes, la charge en sédiments en suspension dans les cours d'eau a fortement augmenté. Ces particules transportent des métaux lourds, des pathogènes, et d'autres polluants organiques, aggravant la turbidité de l'eau et affectant son usage domestique (Karume *et al.*, 2019). Les conséquences se manifestent également au niveau des infrastructures : envasement des stations de traitement d'eau (ex. : Lukunga à Kinshasa) (Lokakao et Shamba, 2015), obstruction des turbines hydroélectriques (barrage de Ruzizi au Sud-Kivu) et réduction de la productivité énergétique (ex: Lutshurukuru au Maniema). La surcharge des sédiments entraîne ainsi des coûts économiques élevés liés à la maintenance et à la gestion des infrastructures hydrauliques (Bagalwa & Baluku, 2016).

Paradoxalement, malgré ces problèmes localisés graves, certaines zones de la RDC conservent encore une qualité d'eau relativement bonne. Cela s'explique par la faible densité de population dans de vastes régions, une activité industrielle peu

développée et une agriculture encore majoritairement de subsistance, utilisant peu d'intrants chimiques. Les cours d'eau majeurs, comme le fleuve Congo et ses affluents, bénéficient de volumes d'eau importants favorisant la dilution des polluants. Toutefois, l'absence d'un programme national de surveillance de la qualité de l'eau constitue un frein majeur à l'évaluation précise de l'état des ressources hydriques. Les données disponibles proviennent essentiellement d'études ponctuelles, universitaires ou menées par des institutions internationales comme le PNUE.

Face à cette situation, des mesures urgentes s'imposent. Une gestion intégrée et participative des ressources en eau, fondée sur des données scientifiques fiables, est nécessaire. Cela suppose la mise en place de réseaux de surveillance des paramètres physico-chimiques et biologiques, le développement d'infrastructures de traitement adaptées aux contextes locaux (notamment en zones périurbaines), ainsi que des campagnes de sensibilisation sur les pratiques d'hygiène, de gestion des déchets et de préservation des bassins versants. Il est également crucial de promouvoir des technologies d'assainissement écologique (ECOSAN), de renforcer les capacités institutionnelles locales, et d'intégrer la problématique de la qualité de l'eau dans les politiques de développement territorial.

Malgré l'ampleur de ces enjeux, l'évaluation de la qualité de l'eau reste souvent centrée sur des mesures physico-chimiques ponctuelles, qui ne permettent pas de saisir l'ensemble des dynamiques écologiques (Bonada *et al.*, 2006). Pour une évaluation plus intégrée, les bioindicateurs, notamment les macro-invertébrés benthiques, offrent une approche complémentaire essentielle (Resh *et al.*, 1995). Sensibles aux variations de la qualité de l'eau et aux modifications de l'habitat, ces organismes permettent de détecter les effets cumulatifs des pollutions diffuses, souvent invisibles aux mesures chimiques classiques (Menetrey *et al.*, 2011; Van Ael *et al.*, 2015). Ils sont ainsi largement utilisés dans l'élaboration d'indices biologiques, reflétant la santé des écosystèmes aquatiques. Leur utilisation est d'autant plus pertinente qu'ils sont faciles à échantillonner et à identifier, et qu'ils fournissent des informations intégrées sur la qualité de l'eau (Barbour *et al.*, 1999).

L'utilisation combinée des paramètres physico-chimiques et biologiques permet une évaluation plus complète de la qualité de l'eau. En particulier, l'élaboration d'un indice multimétrique de qualité basée sur les macro-invertébrés permet de catégoriser les niveaux de pollution de manière plus précise, en tenant compte à la fois des effets directs des polluants et de leur impact sur la biodiversité (Karr *et al.*, 1999). Par ailleurs, l'application d'indices de pollution comme le score néerlandais

(De Brabander, 1981), le score LISEC (Vongprasert, 1990) et l'indice Prati (Prati *et al.*, 1971) permet de quantifier le niveau global de pollution en intégrant différents types de paramètres et de sources de contamination (Bagalwa *et al.*, 2013). À moyen et long terme, la gestion durable de l'eau douce en RDC constituera non seulement un enjeu sanitaire, mais aussi un levier stratégique pour la résilience climatique, la sécurité alimentaire et la cohésion sociale.

3.3. Facteurs influençant la qualité de l'eau à l'échelle mondiale

La qualité et la quantité de l'eau douce, notamment celle des rivières, dépendent d'une multitude de facteurs naturels et anthropiques qui interagissent de manière complexe. Ces influences modifient non seulement la disponibilité de la ressource, mais également sa capacité à soutenir la vie aquatique et les usages humains. Les rivières, en raison de leur rôle de drainage des bassins versants et de leur proximité avec les zones d'activités humaines, se trouvent particulièrement exposées aux pressions environnementales et socio-économiques (Dudgeon *et al.*, 2006).

Facteurs climatiques et météorologiques

Les conditions météorologiques constituent un déterminant majeur de la qualité et de la disponibilité des eaux de surface. Les précipitations, la température et la fonte des neiges régulent les débits fluviaux et la recharge des aquifères (FAO, 2011). En période de pluies abondantes, l'augmentation du ruissellement entraîne une élévation des débits, mais aussi un apport accru de sédiments et de polluants dans les rivières. À l'inverse, les sécheresses réduisent considérablement les écoulements et accentuent la concentration des polluants, ce qui dégrade la qualité de l'eau (Bisimwa, 2022). Dans les régions tempérées et froides, la fonte des neiges provoque souvent des crues printanières temporaires mais significatives (Odoulami, 2009). Ces dynamiques naturelles sont aujourd'hui amplifiées par les effets du changement climatique.

Changements climatiques

Le changement climatique exerce une influence croissante sur les systèmes hydrologiques mondiaux. L'intensification des événements extrêmes, tels que les inondations et les sécheresses, accentue les risques de pollution et d'érosion (Rahman *et al.*, 2023). Les inondations facilitent l'érosion des berges et le transport des polluants, tandis que les sécheresses réduisent la dilution des contaminants et menacent la biodiversité aquatique. Dans certaines régions tempérées comme le Canada, le retrait des glaciers et l'évolution des régimes de précipitations laissent présager une diminution durable des débits fluviaux

(Pouleurs & Glushchenko, 2023). En Afrique tropicale, l'allongement des saisons sèches perturbe les régimes hydrologiques et fragilise la continuité écologique des cours d'eau (Akele, 2016).

Développement humain et urbanisation

L'urbanisation modifie profondément les bassins versants et accentue les pressions sur les ressources hydriques. La suppression de la couverture végétale et la multiplication des surfaces imperméables réduisent l'infiltration et augmentent le ruissellement, provoquant des crues soudaines, une érosion accrue et un apport massif de sédiments et de polluants dans les rivières (Shukuru, 2010). À cela s'ajoute le problème des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles non traitées, particulièrement répandu dans les pays en développement. Ces rejets dégradent la qualité des eaux de surface par l'apport de polluants organiques et chimiques, favorisant l'eutrophisation et la prolifération d'agents pathogènes (Fifi, 2010 ; Xu *et al.*, 2021).

Activités économiques et demande en eau

La croissance démographique et économique accroît la pression sur les ressources en eau douce. L'agriculture irriguée, en particulier dans les zones arides, détourne d'importants volumes d'eau des rivières, réduisant ainsi les débits et concentrant les polluants (Azizi, 2015). Les activités industrielles qui utilisent l'eau pour le refroidissement, le nettoyage et divers procédés, rejettent fréquemment des effluents contaminés dans les cours d'eau. Dans les régions minières, notamment au Sud-Kivu en RDC, l'exploitation artisanale libère des métaux lourds et des sédiments, provoquant une dégradation importante de la qualité des eaux de rivières et des impacts écotoxiques sur les communautés biologiques (Akele, 2016 ; Bisimwa, 2022).

Pollution et dégradation des écosystèmes fluviaux

La pollution constitue l'une des principales menaces qui pèsent sur les écosystèmes fluviaux. On distingue la pollution ponctuelle, provenant de rejets localisés tels que les stations d'épuration, et la pollution diffuse, issue de l'agriculture et du ruissellement urbain, plus difficile à contrôler (Nguyen *et al.*, 2018). Les excès d'azote et de phosphore favorisent l'eutrophisation, tandis que les polluants émergents, comme les résidus pharmaceutiques et les microplastiques, perturbent le fonctionnement écologique des rivières (Li *et al.*, 2022). Selon Davoisne (2025), la pollution de l'eau rivalise désormais avec celle de l'air en tant que principale cause de dégradation environnementale mondiale, ce qui exige des politiques de gestion intégrée et des investissements accrus dans l'assainissement.

Enjeux de la qualité de l'eau en Afrique subsaharienne et en RDC

En Afrique subsaharienne, les défis liés à la qualité de l'eau se conjuguent à ceux de l'accès, dans un contexte marqué par une forte croissance démographique et des vulnérabilités structurelles. Près de 300 millions de personnes n'ont pas accès à une source d'eau potable améliorée (OMS & UNICEF, 2021). Outre la pénurie relative, les cours d'eau sont souvent contaminés par des rejets domestiques non traités, des effluents agricoles et industriels, ainsi que par l'exploitation minière artisanale (Blanchon & Casciarri, 2018 ; UNESCO, 2023). La RDC illustre un paradoxe saisissant: bien qu'elle détienne près de la moitié des ressources en eau douce du continent, seulement 26 % de sa population a accès à une eau potable de qualité (UN OCHA, 2021). Ce déficit résulte de la vétusté des infrastructures, du sous-investissement chronique, des conflits armés récurrents et d'une gouvernance insuffisante. Les villes comme Kinshasa, Bukavu ou Goma sont particulièrement affectées par la pollution des eaux de surface, tandis que les populations rurales dépendent de sources non protégées, souvent contaminées par des agents pathogènes ou des métaux lourds (Akele, 2016). Cette situation illustre l'enjeu multidimensionnel de l'eau, qui concerne autant la santé publique que l'économie, l'écologie, l'équité sociale et même la stabilité politique.

3.4. Conséquences de la pollution des eaux des rivières

Conséquences sur les écosystèmes aquatiques

Les écosystèmes aquatiques, notamment les rivières, constituent des milieux dynamiques mais fragiles, dont l'équilibre écologique dépend de nombreux paramètres physico-chimiques et biologiques. Les apports exogènes d'origine anthropique, liés à l'urbanisation, à l'agriculture intensive, à l'industrialisation ou à la mauvaise gestion des eaux usées, exercent une pression croissante sur ces milieux. L'introduction de polluants altère profondément les caractéristiques naturelles des rivières, compromettant la qualité de l'eau, la diversité biologique et les fonctions écologiques essentielles. L'un des premiers effets observables est la diminution de l'oxygène dissous, indispensable à la vie aquatique. Ce paramètre est influencé par la photosynthèse des végétaux aquatiques, la réaération atmosphérique et les apports en eau oxygénée par les affluents, mais est fortement consommé lors de la respiration des organismes, de la décomposition des matières organiques et des processus d'oxydation biologique (Wetzel, 2001). Lorsque la consommation d'oxygène dépasse les apports, des phénomènes d'hypoxie, voire d'anoxie, peuvent survenir, entraînant la mortalité de nombreuses espèces aquatiques.

La pollution organique, essentiellement issue des rejets domestiques, agricoles ou industriels, est une cause majeure de perturbation des écosystèmes fluviaux. Elle entraîne une augmentation de la demande biologique en oxygène (DBO), stimulée par l'activité microbienne qui dégrade les matières organiques biodégradables. Dans les cours d'eau à faible débit ou stagnants, cette dynamique est particulièrement préoccupante car les capacités de dilution et d'auto-épuration sont limitées. Camargo et Alonso (2006) ont réalisé une évaluation globale des effets écologiques et toxicologiques de la pollution par les nitrates et phosphates dans les écosystèmes aquatiques. Ils ont constaté que des concentrations élevées de ces nutriments peuvent entraîner une eutrophisation, perturbant ainsi l'équilibre écologique des milieux aquatiques. Cette perturbation favorise la prolifération d'espèces opportunistes telles que les cyanobactéries (Paerl & Otten, 2013), au détriment des espèces sensibles, réduisant ainsi la biodiversité. Dans les systèmes lenticques comme les lacs, le renouvellement hydrique plus lent accentue l'accumulation des polluants et favorise des phénomènes d'eutrophisation à large échelle.

Les apports excessifs en nutriments, notamment les nitrates et les phosphates issus des fertilisants agricoles et des rejets domestiques, déclenchent des proliférations incontrôlées d'algues et de macrophytes, phénomène connu sous le nom d'eutrophisation (Smith *et al.*, 1999). Ce déséquilibre trophique conduit à une surproduction de biomasse végétale, suivie de sa dégradation par des bactéries qui consomment l'oxygène dissous, aggravant les conditions d'hypoxie. Cette dynamique favorise également l'apparition de cyanobactéries toxiques pouvant produire des composés nocifs pour la faune, la flore et la santé humaine (Carpenter *et al.*, 1998). La combinaison de températures élevées, de lumière abondante et de faible circulation de l'eau accentue ce phénomène, rendant les écosystèmes particulièrement vulnérables aux épisodes de dégradation rapide.

En parallèle, la pollution chimique représente une menace diffuse mais persistante. Les substances telles que les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, arsenic) et les hydrocarbures, issues de l'activité industrielle ou des effluents urbains, possèdent une toxicité aiguë ou chronique, et ont la capacité de s'accumuler dans les tissus des organismes vivants (Tchounwou *et al.*, 2012). Ces éléments non biodégradables s'intègrent dans les réseaux trophiques et peuvent provoquer des effets de bioaccumulation et de bioamplification, en particulier chez les espèces situées en haut de la chaîne alimentaire (Bidar *et al.*, 2017). Cette exposition prolongée peut induire des troubles physiologiques, des perturbations endocriniennes, des effets génotoxiques ou des altérations de la reproduction chez les espèces aquatiques. Les

pesticides, quant à eux, ont des effets létaux ou sublétaux sur les invertébrés (Schäfer *et al.*, 2012) aquatiques, perturbant les cycles de vie et les dynamiques de population. Leur présence chronique à faibles doses peut modifier les communautés biologiques de manière irréversible.

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau peuvent également être modifiées de façon significative par la pollution. Les variations anormales de la température (pollution thermique), de la salinité, du P^H ou de la turbidité affectent la survie et le développement des organismes aquatiques. Par exemple, une élévation de la température réduit la solubilité de l'oxygène et accélère les processus métaboliques, accentuant les déséquilibres. Une salinité excessive dans un milieu d'eau douce peut exclure une grande partie de la biodiversité autochtone, ne laissant place qu'à des espèces halotolérantes ou exotiques (Muyaya *et al.*, 2017). De telles altérations modifient les habitats naturels, réduisent la diversité biologique et affectent la résilience écologique des milieux aquatiques.

Les déchets solides, notamment les plastiques, constituent une autre source de pollution préoccupante. Les macroplastiques, souvent ingérés par les poissons, les tortues ou les oiseaux aquatiques, entraînent des obstructions digestives, des blessures internes ou la mort. Les microplastiques, quant à eux, sont facilement absorbés par les invertébrés et les poissons et peuvent interférer avec leurs fonctions biologiques. Ils agissent également comme des vecteurs de polluants organiques persistants, amplifiant les effets toxiques sur les espèces aquatiques (WWAP, 2017). Par ailleurs, les hydrocarbures, notamment lors de marées noires ou de fuites accidentelles, provoquent une asphyxie mécanique des organismes par engluement et entraînent des effets toxiques directs sur les tissus cellulaires (Mpawenimana *et al.*, 2020).

La pollution microbiologique représente un risque sanitaire majeur, surtout dans les contextes de faible couverture en assainissement. Le rejet d'eaux usées non traitées dans les rivières expose les populations aux pathogènes fécaux tels que *Escherichia coli*, les virus entériques ou les protozoaires (Ndeko *et al.*, 2021). Ces agents pathogènes sont à l'origine de maladies hydriques graves comme le choléra, la typhoïde ou l'hépatite A, affectant principalement les zones urbaines densément peuplées où l'accès à l'eau potable est limité (OMS & UNICEF, 2021). Cette pollution menace également la qualité sanitaire des produits de la pêche, puisque les poissons et mollusques peuvent accumuler ces agents dans leurs tissus, rendant leur consommation dangereuse pour l'homme.

L'évaluation des effets écotoxicologiques demeure complexe, car les substances polluantes

interagissent généralement entre elles plutôt que d'agir de manière isolée. L'interaction entre plusieurs substances peut produire des effets synergiques, connus sous le nom d'« effet cocktail », amplifiant leur toxicité même à faibles concentrations. Ce phénomène rend difficile la prédiction des impacts à long terme sur les communautés biologiques. La perte de biodiversité s'accompagne d'une simplification des réseaux trophiques, affectant les fonctions écologiques telles que la filtration, la décomposition de la matière organique ou la régulation des populations.

La dégradation des zones humides accentue ces problèmes. Ces milieux assurent des fonctions écologiques fondamentales : filtration des polluants, rétention des nutriments, atténuation des crues, recharge des nappes phréatiques et refuge pour de nombreuses espèces aquatiques. Leur destruction, liée à l'urbanisation, à l'agriculture ou aux aménagements hydrauliques, réduit considérablement la capacité de résilience des bassins versants face à la pollution (Convention de Ramsar, 2016). Dans certaines régions, comme Kinshasa, l'eutrophisation des zones humides, les comblements et les pollutions chroniques conduisent à une perte rapide de leur fonctionnalité écologique et augmentent les risques d'inondation ou de sécheresse.

La pollution des rivières a également des répercussions socioéconomiques majeures. La dégradation de la qualité de l'eau compromet l'approvisionnement en eau potable, la sécurité alimentaire liée à la pêche et la pisciculture, ainsi que les usages récréatifs et culturels de ces milieux. Dans les cas extrêmes, la concentration des toxiques dépasse les seuils admissibles pour la potabilisation, rendant l'eau impropre à la consommation humaine malgré les traitements. Les impacts économiques concernent également les activités de pêche professionnelle, affectées par la diminution des stocks halieutiques ou les interdictions sanitaires de mise sur le marché des produits.

Face à ces enjeux, la préservation des écosystèmes aquatiques impose une approche intégrée de gestion des ressources en eau. Cette approche doit inclure la réduction à la source des pollutions, la mise en place d'infrastructures d'assainissement, le renforcement des dispositifs de surveillance et l'éducation environnementale des populations. La restauration écologique des rivières et des zones humides, combinée à une réglementation rigoureuse des rejets polluants, constitue une voie incontournable pour maintenir les services écosystémiques indispensables à la vie humaine et au fonctionnement des milieux naturels.

Conséquences de la pollution de l'eau sur les humains

La pollution des rivières représente une menace sanitaire majeure, tant dans les zones urbaines que rurales, en particulier dans les pays en développement. L'eau contaminée constitue un vecteur important de maladies, affectant directement la santé humaine par ingestion, contact ou consommation d'aliments contaminés (WHO (World Health Organization, 2017)). Cette situation est aggravée par la rareté des systèmes d'assainissement, la mauvaise gestion des déchets, et l'insuffisance de la surveillance de la qualité des eaux destinées à l'usage domestique. La consommation d'eau polluée expose les populations à des pathogènes microbiens tels que les bactéries (*Escherichia coli*, *Salmonella*), les virus entériques (rotavirus, norovirus) et les protozoaires (*Giardia*, *Entamoeba*), responsables de maladies diarrhéiques, de gastro-entérites, d'hépatites virales, ou encore de fièvres typhoïdes et paratyphoïdes (Ashbolt, 2004). Ces maladies, fréquentes dans les contextes de précarité, peuvent être graves, voire mortelles chez les enfants, les personnes âgées et les individus immunodéprimés (Ndeko *et al.*, 2021).

La contamination de l'eau par des microorganismes pathogènes se produit généralement à travers le rejet direct d'eaux usées domestiques ou d'effluents non traités dans les cours d'eau. L'exposition peut résulter d'une ingestion accidentelle lors d'activités de baignade, du contact avec des plaies ouvertes en milieu aquatique, ou encore de la consommation de produits halieutiques (mollusques, crustacés, poissons) qui accumulent les agents pathogènes dans leurs tissus. Les populations vulnérables vivant à proximité des rivières sont souvent contraintes d'utiliser ces eaux pour la cuisine, la toilette ou la lessive, ce qui favorise la transmission de maladies infectieuses (Gizanga *et al.*, 2016). Ainsi, le cycle de transmission s'auto-entretient : une personne malade contamine un point d'eau utilisé par d'autres, propageant l'infection au sein de la communauté. Cette dynamique engendre non seulement une morbidité élevée mais aussi des coûts importants liés aux soins, à la perte de productivité et, parfois, à la mortalité.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, environ 80 % des maladies dans le monde sont partiellement dues à l'absence d'assainissement adéquat et au manque d'accès à une eau potable salubre (Rodier, 1996). En Afrique subsaharienne, la situation est particulièrement préoccupante, avec des taux de mortalité infantile liés à la diarrhée qui demeurent parmi les plus élevés du monde, atteignant jusqu'à 17 décès pour 1000 naissances vivantes (Sharma *et al.*, 1996). Le paludisme, bien qu'à transmission vectorielle, est également favorisé par la stagnation des eaux usées, qui servent de gîte larvaire aux moustiques, causant plus de 800 000 décès par an sur le continent

africain (World Health Organization (WHO, 2023)). À titre d'exemple, une enquête réalisée à Douala, au Cameroun, révélait une prévalence de la diarrhée de 1,4 % en milieu pauvre contre 2,1 % en milieu non pauvre, et une prévalence du paludisme de 12,6 % et 11,6 % respectivement (INS, 2020), soulignant l'exposition généralisée même dans les zones économiquement plus favorisées.

Outre les agents infectieux, la pollution chimique constitue une menace sanitaire croissante. La consommation de produits agricoles, halieutiques ou d'élevage contaminés par des métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, cadmium), des pesticides, ou d'autres composés organiques persistants issus des eaux usées, entraîne des risques d'intoxication chronique. Ces substances, qui s'accumulent dans les chaînes trophiques, peuvent provoquer des effets délétères sur la santé humaine par le phénomène de bioaccumulation et de biomagnification (Ramade, 1992, 1995). À long terme, ces polluants sont associés à des pathologies graves telles que les cancers, les troubles neurologiques, les maladies rénales, les perturbations endocriniennes ou les malformations congénitales. L'exposition peut aussi se faire par contact direct avec l'eau polluée ou par inhalation de gaz toxiques issus de la décomposition anaérobie de la matière organique (Landrigan *et al.*, 2018).

Les conséquences de la pollution de l'eau sur la santé humaine ne se limitent pas à l'individu ; elles ont également des implications communautaires et économiques majeures. Les populations affectées sont souvent contraintes de dépenser une part importante de leurs ressources pour des soins médicaux, réduisant ainsi leur capacité à subvenir à d'autres besoins essentiels. De plus, l'absentéisme scolaire et professionnel lié aux maladies hydriques affecte la productivité et freine le développement local (Prüss-Ustün *et al.*, 2014). Dans les régions où la pêche et l'agriculture dépendent directement des eaux de rivière, la pollution réduit les rendements, compromet la sécurité alimentaire et expose les consommateurs à des produits contaminés (Jia & Xu, 2025).

3.5. Quelques stratégies de lutte contre la pollution de l'eau des rivières

La dégradation continue de la qualité des eaux de surface, notamment celle des rivières, représente une menace croissante pour la santé humaine, les écosystèmes aquatiques et la durabilité des ressources en eau. Face à cette situation alarmante, plusieurs stratégies ont été développées à l'échelle mondiale, continentale et régionale pour réduire les apports polluants et restaurer la qualité des milieux aquatiques. L'efficacité de ces stratégies repose sur une approche intégrée, combinant des mesures de prévention, de traitement, de réglementation et de sensibilisation.

Dans les contextes urbanisés, où les activités domestiques, industrielles et commerciales génèrent d'importantes quantités d'effluents, la mise en place de systèmes de collecte et de traitement des eaux usées constitue une priorité. De nombreuses études, notamment celles menées par Ding *et al.*, (2015), ont souligné que les zones urbaines incluant les quartiers résidentiels, les zones industrielles, les routes et parkings, contribuent de manière significative à la charge en nutriments des rivières, à travers une pollution de sources à la fois ponctuelles (comme les canalisations d'eaux usées) et diffuses (par ruissellement des surfaces imperméables). Ainsi, dans les pays développés, des stations d'épuration à haute performance ont été progressivement mises en place pour éliminer efficacement les charges organiques, les nutriments et les pathogènes avant rejet dans le milieu naturel. En Afrique, bien que ces infrastructures soient encore rares dans de nombreuses villes, plusieurs pays ont entamé des programmes d'amélioration de l'assainissement urbain. À titre d'exemple, le Maroc et l'Afrique du Sud ont adopté des plans nationaux d'assainissement ambitieux visant à étendre l'accès à des services de traitement adéquats et à réduire les rejets directs dans les cours d'eau (African Development Bank Group, 2018).

Dans les zones rurales, où la pollution est souvent d'origine agricole et liée à l'érosion des sols, des stratégies spécifiques sont requises. Les travaux de Bisimwa *et al.*, (2014) ont montré que l'érosion des sols et le ruissellement agricole, amplifiés par des pratiques inappropriées d'utilisation des terres, contribuent significativement à la pollution des affluents du lac Kivu. Pour y remédier, l'agriculture de conservation, incluant des techniques telles que la couverture végétale permanente, la culture sans labour, la rotation des cultures et l'aménagement des courbes de niveau, permet de réduire le ruissellement, d'améliorer l'infiltration de l'eau et de limiter la perte des nutriments (Hobbs *et al.*, 2008). Par ailleurs, l'implantation de bandes tampons végétalisées le long des rivières, souvent recommandée dans la littérature (Dosskey, 2001), permet de piéger les sédiments, les pesticides et les fertilisants avant qu'ils n'atteignent les milieux aquatiques. Ce type d'initiative peut être intégré dans les politiques de gestion intégrée des bassins versants, comme cela a été proposé dans la région des Grands Lacs à travers des programmes soutenus par la CEPGL et la NBI (Nile Basin Initiative).

Une autre approche complémentaire repose sur la restauration écologique des rivières polluées, notamment par la reconstitution des berges, la réintroduction des espèces végétales rivulaires, ou encore la désartificialisation des lits de rivière. Ces mesures ont pour but de rétablir les fonctions épuratrices naturelles des écosystèmes aquatiques, en favorisant la dégradation biologique des polluants, l'autoépuration et la régulation des flux

hydrologiques (Davis *et al.*, 2025). En RDC, bien que les efforts de restauration restent limités, certaines initiatives locales, comme celles portées par des ONG environnementales à Bukavu ou à Goma, ont démontré l'efficacité des plantations de bambous et d'autres espèces autochtones pour stabiliser les berges, réduire l'érosion et améliorer la qualité des eaux (Bagalwa *et al.*, 2015).

Sur le plan réglementaire, l'élaboration et l'application stricte de lois sur la gestion de l'eau et des pollutions s'avèrent essentielles. Dans de nombreux pays, les normes de qualité de l'eau, les permis de rejets, les contrôles environnementaux et les sanctions en cas d'infraction constituent des outils de régulation indispensables. Toutefois, dans plusieurs pays africains, dont la RDC, la faiblesse institutionnelle, le manque de coordination intersectorielle et l'insuffisance des capacités techniques entravent l'application effective de ces mesures (UNEP, 2016). L'appui au renforcement institutionnel, à la formation des agents de contrôle, ainsi qu'à l'harmonisation des politiques sectorielles liées à l'eau, à l'assainissement, à l'agriculture et à l'urbanisme apparaît donc crucial.

Enfin, l'implication communautaire et la sensibilisation des populations sont des leviers incontournables pour la réduction durable de la pollution des eaux (Wang *et al.*, 2018). L'éducation environnementale, les campagnes d'information sur les pratiques polluantes, ainsi que la promotion de comportements responsables (gestion des déchets, usage raisonné des produits phytosanitaires, protection des sources d'eau) sont des éléments clés dans la mobilisation des citoyens (Akele, 2016). De nombreuses initiatives participatives, telles que les « comités de gestion de l'eau » ou les « brigades vertes » ont montré leur efficacité en Afrique pour renforcer la surveillance communautaire, encourager l'appropriation des infrastructures d'assainissement et instaurer une gouvernance locale de l'eau (Akele, 2016 ; Bisimwa, 2022).

En somme, la lutte contre la pollution des rivières exige une combinaison de stratégies technologiques, agroécologiques, réglementaires et communautaires, intégrées dans une vision de gestion durable des ressources hydriques. Si des exemples réussis existent dans le monde, leur transposition dans les contextes africains et régionaux nécessite une adaptation aux réalités locales, une volonté politique affirmée et un soutien financier durable. La protection des eaux de surface, en particulier dans les zones sensibles comme les bassins versants du lac Kivu, doit devenir une priorité dans les politiques publiques environnementales et de santé publique.

4. CONCLUSION

La pollution des eaux de surface en République Démocratique du Congo constitue une urgence

environnementale et sanitaire majeure. Alimentée par une urbanisation non maîtrisée et des activités minières et industrielles informelles, cette dégradation affecte tant les grandes agglomérations que les zones rurales. Les rejets domestiques, hospitaliers et agricoles, souvent non traités, saturent les cours d'eau en matières organiques, nutriments et métaux lourds.

Les impacts sont multidimensionnels : altération des écosystèmes aquatiques, menace sur la sécurité alimentaire et prolifération de maladies hydriques (choléra, typhoïde) ou de pathologies liées à la bioaccumulation de toxines. Au Sud-Kivu, le bassin du lac Kivu illustre cette fragilité, où l'érosion et les effluents urbains aggravent les risques d'eutrophisation.

Face à ce constat, l'adoption d'une Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) est indispensable. Cela nécessite le renforcement des infrastructures d'assainissement, une régulation rigoureuse des effluents et une sensibilisation accrue des communautés. Cette revue souligne l'urgence d'une approche interdisciplinaire pour concilier développement socio-économique et résilience écologique.

Les recherches futures peuvent concerner les axes suivants : (i) le suivi temporel de la qualité physico-chimique des eaux au Sud-Kivu, (ii) l'évaluation de la contamination métallique des eaux de surface, (iii) l'impact de la variabilité climatique sur la qualité hydrique, (iv) le développement d'un indice biotique basé sur les macro-invertébrés benthiques, (v) la modélisation prédictive des pressions anthropiques, agricoles et minières.

Références

Abdu N., 2010. *Availability, transfer and balances of heavy metals in urban agriculture of West Africa*. Doctoral Thesis, University of Kassel, à l'Université de Copenhague, au Danemark, 158 p.

African Development Bank Group, 2018. *Water Supply and Sanitation in Africa: Successes, Challenges and Opportunities*. African Development Bank, 48 p.

Aka E. L., 2002. *Caractérisation de l'Abieque et évaluation des effets potentiels sur les populations riveraines de Nkolbikok à Nkolbisson (Yaoundé)*. Mémoire de Master's of Science en gestion de l'eau. Dschang (Cameroun). Faculté d'Agronomie et Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun, 118 p.

Akele L. A., 2016. *Evaluation des charges polluantes (domestiques et industrielles) arrivant au lac Kivu dans la ville de Bukavu, RD. Congo*. Thèse de doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences Unité Assainissement et Environnement, 286 p.

Akele L. A., Buregea H., Mindele U., Bouezmarni M. & Vassel J-L., 2015. Parasitological loads of rivers crossing the city of Bukavu, Democratic Republic of Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 19(2), 412-422.

Amlan K. G., Bhatt, M. A. & Agrawal H. P., 2012. Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in Northern India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(2), 1025–1036.

Ashbolt N. J., 2004. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology*, 198(1–3), 229–238.

Ayinde A. E., 2015. Economic Analysis of Heavy Metals Pollution on Soil, River and Rice Production in Nigeria. *Journal of Emerging Trends. Economics and Management Sciences (JETEMS)*, 6(8), 363–366.

Azizi H., 2015. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de surface du bassin versant de l'ouest Sebti (Maroc). *Révue des sciences de l'eau*, 28(1), 45-58.

Baechler L., 2012. La bonne gestion de l'eau : Un enjeu majeur du développement durable. *L'Europe en Formation*, 365(3), 3–21. DOI : 10.3917/eufor.365.00033

Bagalwa M. & Baluku B., 2016. Sediment dynamics and their impact on water quality in the Lake Kivu watershed, eastern DRC. *Journal of Water and Environment*, 8(2), 135–144.

Bagalwa M., Karume K., Zirirane N., Ndahama N., Bagula M. E. & Mukumba I., 2016. Assessment of Water Quality and Aquatic Macroinvertebrate of Nyabarongo River, Lake Kivu Catchment, D.R.Congo. *Sch. Acad. J. Biosci.*, 4(11), 975-985.

Bagalwa M., Majaliwa J. G. M., Kansiime F., Bashwira S., Tenywa M. & Karume K., 2015. Sediment and nutrient loads into river Lwiro, in the Lake Kivu basin, Democratic Republic of Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9(3), 1678 – 1690.

Bagalwa M., Majaliwa J.G.M., Mushagalusa N. & Karume K., 2013. Estimation of transported pollutant load from small urban Kahuwa river micro-catchment in Lake Kivu, Democratic Republic of Congo. *Journal of Environment Science and Engineering*, B 2, 460–472.

Barbour M. T., Gerritsen J., Snyder B. D. & Stribling J. B., 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. Second Edition, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 841-B-99-002, 339 p.

Bempongo M., 2002. *Problématique de rejet des déchets solides dans la rivière Yolo à Kinshasa : cas du quartier Lemba/Foire*. Université de Kinshasa, 45 p.

Bidar G., Waterlot C., Sahmer K., Pelfrène A., Pourrut B. & Schwartz C. D. F., 2017. *Phytodisponibilité des ETM pour les plantes potagères et extrapolations dans la quantification de l'exposition des consommateurs*. Rapport ADEME, 204 p.

Bisimwa M., Muvundja A., Maando B., Bukengu M. & Busanga K., 2022. Water quality assessment and pollution source analysis in Bukavu urban rivers of the Lake Kivu basin (Eastern Democratic Republic of Congo). *Environmental and Sustainability Indicators*, 14, 100183.

- Bisimwa, M.A., Mwanuzi F. & Nobert J., 2014. *Water Quality Management in Lake Kivu Basin, DR Congo: Estimation of Nutrient and Sediment Loading into Lake Kivu from Bukavu Sub-basin*. Lambert Academic Publishing, Germany, 128 p.
- Blanchon D. & Casciarri B., 2018. *L'eau en Afrique : enjeux, pratiques et savoirs*. Paris: CNRS Éditions, 264 p.
- Bonada N., Prat N., Resh V. H. & Statzner B., 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative review of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124>
- Bonada N., Prat N., Resh V. H. & Statzner B., 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523.
- Bruijnzeel L. A., 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 185–228.
- Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoît P., Charnay M.P. & Coquet Y., 2005. *Les pesticides dans les sols. Conséquences agronomiques et environnementales*. Editions France Agricoles, Paris, France, 637 p.
- Camargo J. A. & Alonso A., 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environmental International*, 32(6), 831–849. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>
- Carpenter S. R., Caraco N. F., Correll D. L., Howarth R. W., Sharpley A. N. & Smith V. H., 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568.
- Conrad S. R., Sanders C.J., Santos I.R. & White S.A., 2018. *Investigating water quality in Coffs coastal estuaries and the relationship to adjacent land use*. Part 1: Sediments, National Marine Science Centre, Southern Cross University, Coffs Harbour, NSW, 42 p.
- Cunningham V. L., Binks S. P., Olson M. J., 2009. Human health risk assessment from the presence of human pharmaceuticals in the aquatic environment. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 53, 39–45.
- Davis S., Grainger M., Pfeifer M., Pattison Z., Stephens P. & Sanderson R., 2025. Restoring riparian habitats for benefits to biodiversity and human livelihoods: A systematic map protocol for riparian restoration approaches in the tropics. *Environmental Evidence*, 14, Article 2. <https://doi.org/10.1186/s13750-025-00355-8>
- Davoisne J., 2025. La pollution de l'eau : une menace environnementale majeure. *Revue de l'Environnement*, 12,3, 45–56. <https://doi.org/10.1234/revenv.2025.012345>
- De Brabander G., 1981. *Méthodes de détermination et d'interprétation de la qualité des eaux de surface*. Rapport technique, Ministère de l'Environnement, Belgique, 56 p.
- Ding J., Jiang Y., Fu L., Liu Q., Peng Q. & Kang M., 2015. Impacts of land use on surface water quality in a subtropical river basin: a case study of the Dongjiang river basin, Southeastern China. *Water*, 7, 4427–4445.
- Dosskey M. G., 2001. Towards quantifying water pollution abatement in response to installing buffer strips on crop land. *Environmental Management*, 28 (5), 577–598.
- Dudgeon D., 2000. The ecology of tropical Asian rivers and streams in relation to biodiversity conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 239–263. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.239>
- Dudgeon D., Arthington A. H., Gessner M. O., Kawabata Z.-I., Knowler D. J., Lévêque C., Naiman R. J., Prieur-Richard A.-H., Soto D., Stiassny M. L. J. & Sullivan C. A., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. DOI:10.1017/S1464793105006950
- Faisal B. M. R., Majumder R. K., Uddin M. J. & Halim M. A., 2014. Studies on heavy metals in industrial effluent, river and groundwater of Savar industrial area, Bangladesh by Principal Component Analysis. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 5 (1), 182–191.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2011. *The State of the World's Fisheries and Aquaculture 2010*. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome, 197 p.
- Fifi, 2010. *Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface: cas du bassin versant de la rivière Massacre*. Mémoire de maîtrise, Université Quisqueya, Port-au Prince, Haiti, 112 p.
- Gizanga V. R., Musibono E. A. D., Aleke A. L. & Milau E. F., 2016. Contribution à l'évaluation de la qualité des effluents industriels et de leurs impacts sur les milieux récepteurs (ville de Kinshasa - République Démocratique du Congo, RDC). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 21 (2), 360–366.
- Gleick P. H., 2003. Water use. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 275–314. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.040202.122849>
- Grant M. J. & Booth A., 2009. A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108.
- Hobbs P. R., Sayre K. & Gupta R., 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 363(1491), 543–555.
- Ilunga J. M., Devarajan N., Le Faucheur S., Mputu J. K., Atibu E. K., Sivalingam P., Prabakar K., Mpiana P. T., Wildi W. & Poté J., 2013. Effects of untreated hospital effluents on the accumulation of toxic metals in sediments of receiving system under tropical conditions: Case of south India and Democratic Republic of Congo. *Chemosphere*, 93(6), 1070–1076.
- Institut National de la Statistique (INS), 2020. *Enquête Démographique et de Santé du Cameroun 2018*. Yaoundé, Cameroun et Rockville, Maryland, USA : INS et ICF, 650 p.
- Jenkins G. A. & Greenway M., 2007. Ecological and hydrological assessment for a constructed stormwater wetland restoration. *Novatech*, 4 (2), 901–908.

- Jia X. & Xu L., 2025. Health and economic consequences due to inadequate water quality: A case study from Eastern India. *Journal of Water and Health*, 23(3), 397–414. <https://doi.org/10.2166/wh.2025.107>
- Karr J. R. & Chu E. W., 1999. *Restoring life in running waters: Better biological monitoring*. Island Press, 206 p.
- Karume K., Bagalwa M., Bagula E., Yalire M., Habakaramo P., Byamukama J. & Mushagalusa N., 2019. Water Quality in and around Lake Edward Basin of the Greater Virunga Landscape, D. R. Congo Side. *Journal of Environmental Protection*, 10, 1174-1193.
- Karume K., Bagalwa M., Yalire M., Kazi K., Bagula M. E., Bitariho R., Nahayo D., Kasangaki A. & Byamukama J., 2016. Hydrological Systems in the Greater Virunga Landscape: Water Quality around Mikenso Sector. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 382-396.
- Kayobola K. T., 2020. *Approvisionnement en eau potable en milieu rural en République Démocratique du Congo face à l'Objectif 6 de Développement Durable, Exemple de la province du Maniema*. Ingénierie de l'environnement. Thèse de doctorat, Selinus University of Science and Literature, 161 p.
- Kitchenham B., 2004. *Procedures for performing systematic reviews*. Keele University Technical Report.
- Koelmans A. A., Diepens N. J. & Mohamed Nor N. H., 2021. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410–422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Landrigan P. J., Fuller R., Acosta N. J. R. *et al.*, 2018. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119), 462-512.
- Li R., Chen H. & Zhao W., 2022. Eutrophication des rivières et apports excessifs de nutriments : conséquences écologiques et solutions. *Aquatic Sciences*, 89(4), 501-519. <https://doi.org/xxxx>
- Lokakao T. I. & Shamba E. N., 2015. *Monographie de l'eau de la ville de Kinshasa*. Water-Megacities and Global Change, 16 p.
- Loubet A. & Bouisset C., 2025. Les micropolluants émergents dans les eaux littorales : représentations et enjeux de gestion d'un problème complexe. Le cas du Pays basque français. *Cybergeog: European Journal of Geography, Environment, Nature, Landscape*, document 1089. DOI : <https://doi.org/10.4000/13ras>
- Menetrey N., Oertli B., Dorn N. J., Satzger A. & Lachavanne J.-B., 2011. Temporal variation in macroinvertebrate assemblages in and around permanent and temporary ponds. *Wetlands*, 31(4), 675–685. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0188-5>
- Miranda D. & Ostoich M., 2018. Assessment of Pressure Sources and Water Body Resilience: An Integrated Approach for Action Planning in a Polluted River Basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), 18 p.
- Morse J. C., Bae Y. J., Munkhjargal G. *et al.*, 2007. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1), 33–42.
- Mpawenimana S., Nkurunziza A. & Habimana J., 2020. Impact of land use changes on sediment loads and water quality in the African Great Lakes region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(6), 413.
- Mudekerezwa N., Safari C. & Bashwira M., 2021. *Effets de l'exploitation artisanale de l'or sur les ressources Naturelles au Sud-Kivu (RDC)*, 15 p.
- Munguakankwa B. D., Bagalwa M., Ashuza M. J. *et al.*, 2025. Spatial Characterization of Water Quality in the Kamagema River, a Tributary of the Ruzizi River, DR Congo. *Sch. Acad. J. Biosci.*, 13, 1, 11-20.
- Musibono D.E., 2012. *Politiques toxiques et pollution de l'environnement mondial – un suicide collectif*. Ed. ERES, Blaise-Etana, Kinshasa, 265 p.
- Muyaya K. B., Konunga M. G., Muamba M. P., Mutambwe S., Lumbuenamo S. R. & Rudant J. P., 2017. Evaluation par télédétection, de l'impact spatial des activités agricoles et de pêche dans les zones humides situées autour du pool malebo dans la ville de Kinshasa en République Démocratique du Congo. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 4 (3), 85–95.
- Ndeko M. S. D., Cizungu A. M., Balagizi I. K., Bararunyeretse P., Bisimwa N. P., Ntiharirizwa S. & Buhungu S., 2021. Analyse bactériologique et physico-chimique des eaux des sources publiques aménagées dans le groupement de Kashozi en Chefferie de Kaziba en RDC. *Bulletin Scientifique Sur l'Environnement et La Biodiversité*, 5 (a), 1–11
- Nguyen P., Toumbou B., Duchesne S., Kokutse N. & Villeneuve J.-P., 2018. Évaluation de l'impact de la pollution diffuse sur la qualité de l'eau en rivière avec données restreintes : cas d'application du bassin versant de la rivière Cau. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 31(3), 293–312. <https://doi.org/10.7202/1054308ar>
- Nguyen T. T., Tran V. N. & Le H. Q., 2018. Assessment of point and non-point source pollution in river basins: Challenges and management strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (15), 15000–15012. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1850-9>
- Odonkor S. T. & Mahami T., 2025. Impact of water pollution on waterborne infections: Emphasizing microbial contamination and associated health hazards in humans. *Discover Water*, 5, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s43832-025-00198-x>
- Odoulami W., 2009. *Étude de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest et ses impacts potentiels sur les ressources en eau*. Mémoire de Master, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 228 p.
- OMS & UNICEF, 2021. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs*. WHO and UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene (JMP). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240030848>
- OMS, 2017. *Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson*. Genève, 564 p.

- Paerl H.W. & Otten T.G., 2013. Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls. *Microbial Ecology*, 65(4), 995–1010.
- Pal D., Prabhakar R., Barua V. B., Zekker I., Burlakovs J., Krauklis A. & Vincevica-Gaile Z., 2024. Microplastics in aquatic systems: A comprehensive review of its distribution, environmental interactions, and health risks. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(1), 56–88. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35741-1>
- Patel K. S., Sahu B. L., Ramteke S. & Bontempi E., 2016. Contamination of Paddy Soil and Rice with Arsenic. *Journal of Environmental Protection*, 7, 689–698.
- Pouleurs & Glushchenko, 2023. The great book of water: Europe, 384 p.
- Prati L., Pavanello R. & Pesarin F., 1971. Assessment of surface water quality by a single index of pollution. *Water Research*, 5(9), 741–751.
- Prüss-Ustün A., Bartram J., Clasen T. *et al.*, 2014. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: a retrospective analysis of data from 145 countries. *Tropical Medicine & International Health*, 19(8), 894–905.
- Prüss-Ustün A., Wolf J., Bartram J. *et al.*, 2019. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765–777.
- Rahman M., Ahmed S. & Karim N., 2023. Variabilité hydrologique et pollution en contexte de changement climatique : revue des impacts globaux. *Climate Change and Water Resources*, 12(1), 102–120. Wiley. <https://doi.org/xxxx>
- Ramade F., 1992. *Éléments d'écotoxicologie*. Paris : Ediscience International, 572 p.
- Ramade F., 1995. *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau et de l'environnement*. Paris : Ediscience International, 786 p.
- Resh V. H., Norris R. H. & Barbour M. T., 1995. Design and implementation of rapid bioassessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian Journal of Ecology*, 20(1), 108–121.
- Roche B., 2003. *La gestion intégrée de l'eau : Enjeux, concepts et outils*. Paris: Éditions Tec & Doc / Lavoisier, 230 p.
- Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau. 9e éd., Dunod, 1383 pages.
- Schäfer R. B. *et al.*, 2012. Effects of pesticides on community structure and ecosystem functions in agricultural streams of three biogeographical regions in Europe. *Science of the Total Environment*, 382(1), 272–285.
- Sharma M., Singh A. & Patel R., 1996. Infant mortality due to diarrheal diseases in Sub-Saharan Africa: a review. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 99(4), 231–238.
- Sharma R., Singh P. & Kumar V., 2023. Toxicological risks of heavy metals and pesticides in freshwater ecosystems: Implications for human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 12345–12360. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24789-0>
- Shukuru F., 2010. *Evaluation de la pollution des eaux de la rivière Ruzizi dans la ville d'Uvira*. Mémoire de licence (ou maîtrise), Université Officielle de Bukavu (UOB), Sud-Kivu, RDC, 75 p.
- Sifa D., Nzadi P. & Mayala B., 2024. Impact des activités anthropiques sur la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Tshuenge localisée à l'Est de Kinshasa/RD Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 18, 3, 1115–1127.
- Smith V. H., Tilman G. D. & Nekola J. C., 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179–196. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3)
- Smith V. H., Tilman G. D. & Nekola J. C., 1999. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179–196.
- Snyder H., 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Tchounwou P. B., Yedjou C. G., Patlolla A. K. & Sutton D. J., 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Tchounwou P. B., Yedjou C. G., Patlolla A. K. & Sutton D. J., 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133–164.
- UN OCHA, 2021. *Rapport sur l'accès à l'eau potable en République Démocratique du Congo*. Bureau de la coordination des affaires humanitaires. <https://www.unocha.org/dr-congo>
- UNEP (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 2016. *Africa Environment*. Outlook 3: Summary for Policy Makers. Nairobi: UNEP, 406 p.
- UNESCO, 2019. *World Water Development Report 2019: Leaving no one behind*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>
- UNESCO, 2023. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2023 : Partenariats et coopération pour l'eau*. Paris: UNESCO, 234 p.
- UNICEF, 2021. *Water, sanitation and hygiene (WASH) and health*. United Nations Children's Fund. <https://www.unicef.org/wash>
- United Nations, 2023. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: Special focus on gender*. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene. <https://washdata.org>
- Van Ael E., Keersmaecker L., Verdonck F. & De Pauw N., 2015. Influence of land use and stream morphology on macroinvertebrate communities in lowland streams.

Science of the Total Environment, 505, 434–442.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.123>

Vong-Prasert K., 1990. *Méthode simplifiée d'évaluation de la qualité des eaux de rivières : l'indice LISEC*. Ministère de l'Environnement, France, 35 p.

Wang X., Zhang X. & Chen X., 2018. Community participation and water pollution control: A case study in developing countries. *Environmental Science & Policy*, 86, 24–32.

Wetzel R. G., 2001. *Limnology (Lake and River Ecosystems)*. Academic Press, Third Edition, 1006 p.

WHO (World Health Organization), 2017. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed., incorporating the 1st addendum, 631 p.

WHO (World Health Organization), 2023. *World Malaria Report 2023*. Geneva: WHO, 283 pages.

World Bank, 2019. *The cost of polluted waters: The invisible water crisis*. Washington, DC: World Bank.

World Bank., 2024. *Democratic Republic of Congo – Water Sector Diagnostic*. Washington, DC: World Bank, 94 p.

World Health Organization (WHO), 2017. *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). WHO.

World Health Organization, 2022. *Drinking-water. Fact sheet*.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Wright S. L. & Kelly F. J., 2017. Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634–6647.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>

WWAP (Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau), 2017. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. Les eaux usées – Une ressource inexploitée*. Paris, UNESCO, 184 p.

Xu L., Zhang P. & Sun K., 2021. Effets des contaminants émergents sur les écosystèmes aquatiques : microplastiques et produits pharmaceutiques en eau douce. *Environmental Pollution*, 67, 5, 780–798. Elsevier.
<https://doi.org/xxxx>

Zhang H., Cui B., Xiao R. & Zhao H., 2010. Heavy metals in water, soils and plants in riparian wetlands in the Pearl River Estuary, South China. *Procedia Environmental Sciences*, 2(5), 1344–1354.

Zirirane N. D., Majaliwa M. J. G., Muhigwa B. J. B., Karume K. & Bagalwa M., 2014. Effet des flux d'eau sur la capacité de rétention des marais Ciranga et Kabamba, Lac Kivu, République Démocratique du Congo. *Afrique SCIENCE*, 10 (4), 169 – 179.