Regards sur la qualité de l'eau dans la zone métropolitaine de Port-au-Prince : revue de la littérature et perspectives

Ruben Misaac Pierre et Barony Teefard Angelito Dauphin

Université Quisqueya, Programme de Maîtrise en Santé Publique, Faculté des Sciences de la Santé (FSSA), Port-au-Prince, Haïti

Résumé

L'accès à une eau potable de qualité représente un défi majeur pour les 3 millions d'habitants de la Zone Métropolitaine de Port-au-Prince (ZMPP). Cette synthèse de la littérature explore les connaissances actuelles concernant la qualité de l'eau dans cette région ainsi que les facteurs déterminants et les impacts sanitaires liés à sa contamination. L'analyse met en lumière une pollution chronique multifactorielle, principalement due à des métaux lourds (plomb, cadmium), des polluants émergents (microplastiques) et des agents pathogènes (*Cryptosporidium*, coliformes fécaux, *E. coli*. Cette situation découle d'une urbanisation désordonnée, d'infrastructures insuffisantes et d'une gouvernance fragmentée. Les risques pour la santé incluent notamment les maladies diarrhéiques, l'hypertension, la cryptosporidiose et des troubles du développement chez l'enfant. L'article présente des technologies de traitement à faible coût adaptées (charbons actifs issus de biomasse locale, filtres biosables, chloration décentralisée), propose des recommandations politiques en accord avec l'ODD 6, et identifie des pistes prioritaires de recherche pour améliorer durablement l'accès à une eau potable dans la capitale haïtienne.

Mots-clés **:** *qualité de l'eau, Port-au-Prince, contamination, métaux lourds, Cryptosporidium, ODD 6*

1. Introduction

L'eau est une ressource essentielle dont la qualité influence directement la santé publique ainsi que le développement socio-économique. D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017), près de 2,2 milliards de personnes à travers le monde n'ont pas accès à des services d'eau potable gérés de manière sûre. Ce problème est particulièrement aigu dans les pays à faible revenu, où la croissance urbaine rapide, le manque d'infrastructures et une gouvernance fragile compromettent l'accès à une eau de qualité.

L'Objectif de Développement Durable 6 (ODD 6) vise à assurer d'ici 2030 un accès universel à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés durablement. Cet objectif reconnaît que l'eau potable constitue un droit humain fondamental et joue un rôle clé pour atteindre les autres ODD, notamment ceux liés à la santé (ODD 3), à l'éducation (ODD 4) et à la réduction des inégalités (ODD 10).

La pollution de l'eau peut provenir de sources microbiennes (bactéries, virus, protozoaires) ou chimiques (métaux lourds, pesticides, nitrates). Parmi les agents pathogènes les plus courants dans les eaux contaminées figurent Escherichia coli, les coliformes fécaux, *Cryptosporidium* et *Giardia*. Ces microorganismes sont à l'origine de maladies diarrhéiques qui représentent la deuxième cause de mortalité infantile à l'échelle mondiale (Brasseur et al. , 2011). Les polluants chimiques, en particulier les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium et le cuivre, posent des risques sanitaires à long terme en affectant notamment les systèmes nerveux, rénal et cardiovasculaire (Emmanuel et al. , 2007, 2009).

La Zone Métropolitaine de Port-au-Prince (ZMPP) comprend sept communes (Port-au-Prince, Delmas, Pétion-Ville, Carrefour, Tabarre, Cité Soleil et Croix-des-Bouquets) qui rassemblent plus de 3 millions d'habitants, soit environ un tiers de la population haïtienne. Cette urbanisation s'est développée sans une planification suffisante, ce qui engendre d'importants défis concernant l'accès à l'eau potable et aux infrastructures d'assainissement (Dauphin et al. , 2025).

Plusieurs éléments aggravent la situation de l'eau dans la ZMPP. Tout d'abord, la configuration topographique de la ville, nichée dans une cuvette naturelle entourée de montagnes, la rend particulièrement exposée aux inondations ainsi qu'à la pollution des sources d'eau par le ruissellement urbain. Ensuite, moins de 55 % des foyers disposent d'un accès régulier à une source d'eau améliorée, la majorité s'appuyant sur des kiosques privés, des camions-citernes ou des puits artisanaux souvent non traités (DINEPA, 2020). Enfin, l'absence quasi totale d'un réseau d'assainissement à grande échelle entraîne une contamination directe des nappes phréatiques et des eaux de surface par les eaux usées domestiques (Jérôme et al. , 2017, 2021).

Des recherches antérieures ont mis en évidence la présence de nombreux contaminants dans l'eau de la ZMPP. Emmanuel et al. (2007) ont révélé que les concentrations de plomb dépassaient largement les normes fixées par l'OMS dans plusieurs quartiers, ce qui représente un risque particulier pour le développement neurologique des enfants. Brasseur et al. (2011) ainsi que Balthazard-Accou et al. (2017) ont démontré une contamination généralisée par les oocystes de Cryptosporidium dans les eaux de surface et les réseaux publics d'approvisionnement. Plus récemment, Yan et al. (2022) ont établi un lien significatif entre l'exposition au plomb via l'eau potable et l'hypertension artérielle au sein de la population haïtienne.

Bien que de nombreuses données existent sur la contamination de l'eau dans la ZMPP, plusieurs lacunes demeurent dans la littérature. Tout d'abord, il manque une synthèse globale des connaissances actuelles qui permettrait d'avoir une vue d'ensemble des types de pollution, de leurs origines et de leur répartition géographique. Ensuite, les liens entre la qualité de l'eau et les indicateurs de santé publique sont encore partiellement étudiés. Enfin, les solutions technologiques adaptées au contexte haïtien pour le traitement de l'eau restent peu explorées et mises en valeur.

Cette synthèse a pour objectif de répondre aux questions suivantes : (1) Quels sont les principaux contaminants présents dans l'eau de la ZMPP et quelles en sont les sources ? (2) Quels risques sanitaires sont liés à la consommation d'eau contaminée ? (3) Quelles technologies de traitement à faible coût peuvent être mises en œuvre dans le contexte haïtien ? (4) Quelles politiques publiques et orientations de recherche sont nécessaires pour améliorer durablement la qualité de l'eau ?

Cet article a pour but principal de proposer une synthèse de la littérature concernant la qualité de l'eau dans la ZMPP, en prenant en compte les aspects sanitaires, technologiques et politiques. Les objectifs spécifiques sont les suivants : (1) repérer et décrire les principaux polluants chimiques et microbiologiques présents dans l'eau de la ZMPP ; (2) évaluer les risques sanitaires liés à ces contaminants ainsi que leurs effets sur la santé publique ; (3) présenter des technologies de traitement de l'eau à faible coût adaptées au contexte haïtien ; (4) formuler des recommandations en matière de politiques publiques conformes à l'ODD 6 ; (5) identifier des priorités de recherche pour améliorer la qualité de l'eau dans la ZMPP.

2. Revue de littérature

2.1. Qualité de l'eau destinée à la consommation humaine

La qualité de l'eau potable se définit par ses propriétés physiques, chimiques et microbiologiques, qui déterminent son adéquation à la consommation humaine ainsi que son innocuité pour la santé L'OMS (2017) propose des directives servant de référence internationale pour évaluer cette qualité. Ces recommandations couvrent les paramètres microbiologiques (absence d'agents pathogènes), chimiques (limites maximales tolérées pour divers contaminants) et physiques (turbidité, couleur, odeur, goût).

Dans le cadre de la ZMPP, la qualité de l'eau varie largement selon les sources d'approvisionnement. Emmanuel et al. (2013) ont analysé la dureté des eaux souterraines de Port-au-Prince, mettant en évidence des concentrations en magnésium qui, tout en ayant un impact sanitaire favorable, témoignent aussi d'une minéralisation importante liée à la dissolution des roches calcaires. Urbain et al. (2009) ont examiné la qualité des eaux souterraines de la plaine du Cul-de-Sac, principal aquifère alimentant la ZMPP, signalant une contamination préoccupante par les métaux lourds et les ions majeurs.

Les sources d'eau dans la ZMPP se répartissent en plusieurs catégories : (1) le réseau public géré par la DINEPA, dont la couverture reste limitée et la qualité variable ; (2) les kiosques privés proposant de l'eau prétendument traitée ; (3) les camions-citernes qui approvisionnent les quartiers non desservis ; (4) les puits individuels ou communautaires, souvent peu profonds et exposés à des risques de contamination ; (5) enfin, les sources et captages situés en zone rurale périurbaine. Chacune de ces sources présente des vulnérabilités spécifiques influençant la qualité de l'eau distribuée (Jérôme et al. , 2017, 2021).

2.2. Polluants organiques et contaminants microbiologiques

2.2.1. Contamination microbiologique

La contamination microbiologique de l'eau représente le risque sanitaire le plus immédiat dans la ZMPP. Plusieurs études ont mis en évidence la présence généralisée d'indicateurs de pollution fécale. Les coliformes fécaux ainsi qu'*Escherichia coli* sont détectés dans plus de 75 % des échantillons d'eau analysés, notamment dans les puits non protégés et les réseaux de distribution informels (Dauphin et al. , 2025).

La présence de *Cryptosporidium spp.* dans l'eau de la ZMPP a fait l'objet de nombreuses études approfondies. Brasseur et al. (2011) ont identifié des oocystes de *Cryptosporidium* dans 26,7 % des échantillons d'eau de surface ainsi que dans 13,3 % des sources d'approvisionnement en eau potable. Bras et al. (2007) ont quant à eux évalué le risque lié à *Cryptosporidium* dans l'eau destinée à la consommation, estimant une probabilité annuelle d'infection de 32 % chez les personnes consommant de l'eau non traitée. Enfin, Balthazard-Accou et al. (2017) ont confirmé la contamination des eaux souterraines par ces oocystes, avec des concentrations pouvant atteindre jusqu'à 10 oocystes par litre dans certaines régions.

La contamination par *Cryptosporidium* suscite une inquiétude particulière, car ce protozoaire résiste à la chloration classique et peut provoquer des diarrhées sévères, parfois mortelles chez les personnes immunodéprimées. L'étude menée par Michel et al. (2021) sur les parasitoses intestinales en Haïti a mis en évidence une forte prévalence de la cryptosporidiose, surtout dans les zones où l'accès à l'eau potable reste limité.

Emmanuel et al. (2009) ont analysé la contamination des eaux urbaines déversées dans les écosystèmes de la baie de Port-au-Prince, mettant en évidence des charges microbiennes largement supérieures aux normes écologiques. Ces eaux usées non traitées polluent les zones côtières et, par infiltration, atteignent les aquifères proches du littoral, engendrant un cercle vicieux de pollution.

2.2.2. Contamination chimique par les métaux lourds

Les métaux lourds représentent une menace persistante pour la santé des personnes consommant l'eau dans la ZMPP. Le plomb (Pb) est le contaminant qui suscite le plus d'inquiétude. Emmanuel et al. (2007) ont réalisé une évaluation des risques sanitaires liés à la présence de plomb dans l'eau potable à Port-au-Prince, mettant en évidence des concentrations dépassant de 2 à 10 fois les seuils recommandés par l'OMS (10 µg/L) dans plusieurs quartiers. Les sources de contamination identifiées comprennent les canalisations en plomb ou en PVC contenant des stabilisants au plomb, les soudures, ainsi que la dissolution du plomb naturellement présent dans les formations géologiques.

L'importance sanitaire de cette contamination a été mise en évidence par l'étude de Yan et al. (2022), qui a révélé une corrélation significative entre des taux élevés de plomb dans le sang et l'hypertension artérielle au sein de la population haïtienne. Les

chercheurs ont montré que l'exposition au plomb, notamment par l'eau potable, joue un rôle important dans le fardeau de l'hypertension, surtout dans les quartiers défavorisés.

Le cadmium (Cd) et le cuivre (Cu) se retrouvent aussi dans les eaux de la ZMPP. Fifi et al. (2009, 2013) ont examiné les mécanismes d'absorption et de mobilité du plomb, du cadmium et du cuivre dans les sols calcaires de Port-au-Prince. Leurs travaux indiquent que ces métaux peuvent être déplacés sous certaines conditions de pH et de potentiel redox, ce qui entraîne une contamination des eaux souterraines. L'étude menée par Fifi et al. (2013) a analysé la mobilité de ces métaux, montrant que le plomb est retenu plus fortement dans les sols calcaires, tandis que le cadmium et le cuivre sont susceptibles d'être plus facilement lessivés vers les aquifères.

Emmanuel et al. (2009) ont évalué le risque écologique des métaux lourds et des nutriments contenus dans les effluents urbains déversés dans les écosystèmes de la baie de Port-au-Prince. Cette étude a mis en évidence des concentrations de plomb, cadmium et cuivre dépassant les seuils écotoxicologiques, avec des implications pour la chaîne alimentaire aquatique et, indirectement, pour la santé humaine.

2.2.3. Autres contaminants chimiques

Au-delà des métaux lourds, d'autres contaminants chimiques préoccupent. Schwartzbrod et al. (2013) qui ont réalisé une revue des risques toxicologiques liés à l'alimentation et à l'eau de boisson en Haïti, permettant d'identifier la présence de pesticides, d'hydrocarbures et de composés organiques volatils. Les nitrates et nitrites, issus de la décomposition des matières organiques et de l'infiltration des eaux usées, présentent des concentrations élevées dans les nappes phréatiques peu profondes.

Les substances pharmaceutiques et les produits de soins personnels constituent des polluants émergents dont la présence dans les eaux de la ZMPP reste insuffisamment documentée, bien que l'étude d'Emmanuel et al. (2009) sur les effluents hospitaliers suggère leur possible présence.

2.3. Effets sur la santé et risques sanitaires

Les impacts sanitaires de la contamination de l'eau dans la ZMPP sont multiples et affectent particulièrement les populations vulnérables (enfants, femmes enceintes, personnes immunodéprimées, personnes âgées).

2.3.1. Maladies d'origine hydrique

Les maladies diarrhéiques représentent la manifestation la plus visible et la plus immédiate de la contamination microbiologique de l'eau. Michel et al. (2021) ont documenté une prévalence élevée de parasitoses intestinales dans la ZMPP, avec Cryptosporidium, Giardia et diverses espèces d'helminthes. Ces infections sont directement liées à la consommation d'eau contaminée et à l'absence d'assainissement adéquat.

Brasseur et al. (2011) estiment que la cryptosporidiose affecte une proportion significative de la population, avec des risques particulièrement élevés pour les personnes vivant avec le VIH/SIDA. La morbidité et la mortalité infantile associées aux maladies diarrhéiques demeurent élevées dans les quartiers où l'accès à l'eau potable est limité.

Apply et al. (2021) ont étudié les représentations sociales des maladies liées au changement climatique dans un quartier défavorisé, révélant que les maladies d'origine hydrique sont perçues comme un problème majeur par la population, mais que les liens avec la qualité de l'eau ne sont pas toujours clairement établis dans les perceptions populaires.

2.3.2. Effets chroniques des métaux lourds

L'exposition chronique au plomb via l'eau de boisson entraîne des effets insidieux à long terme. Emmanuel et al. (2007) ont estimé que les doses d'exposition au plomb dans certains quartiers de Port-au-Prince dépassent largement les doses de référence toxicologiques. Les enfants sont particulièrement vulnérables, le plomb pouvant causer des déficits cognitifs irréversibles, des troubles du comportement et des retards de développement.

Yan et al. (2022) ont démontré que l'exposition au plomb contribue significativement à l'hypertension artérielle dans la population adulte haïtienne. Leur étude a révélé qu'une augmentation de la plombémie de 5 µg/dL est associée à une augmentation de 1,5 mmHg de la pression artérielle systolique, un effet cliniquement significatif au niveau populationnel.

Le cadmium, cancérigène avéré, s'accumule dans les reins et peut provoquer une insuffisance rénale chronique. Bien que les données spécifiques sur l'insuffisance rénale liée au cadmium soient limitées pour Haïti, les concentrations détectées dans certaines zones suggèrent un risque non négligeable (Fifi et al., 2013).

2.4. Évaluation et gestion des risques sanitaires

L'évaluation quantitative des risques sanitaires liés à l'eau constitue un outil essentiel pour prioriser les interventions de santé publique. Emmanuel et al. (2007, 2009) ont appliqué la méthodologie d'évaluation des risques de l'US EPA au contexte haïtien, estimant les risques carcinogènes et non carcinogènes associés à divers contaminants.

Pour le plomb, Emmanuel et al. (2007) ont calculé des quotients de danger (Hazard Quotients) dépassant largement l'unité dans plusieurs quartiers, indiquant des risques sanitaires inacceptables. Pour Cryptosporidium, Bras et al. (2007) ont utilisé des modèles dose-réponse pour estimer le risque d'infection, révélant des probabilités annuelles d'infection pouvant atteindre 90% pour les consommateurs réguliers d'eau non traitée provenant de sources contaminées.

Balthazard-Accou et al. (2017) ont développé un cadre d'évaluation des risques microbiologiques spécifiquement pour Cryptosporidium dans les eaux souterraines haïtiennes. Leur approche intègre des données de prévalence, des modèles de

consommation d'eau et des relations dose-réponse pour estimer les risques au niveau populationnel.

La gestion des risques sanitaires nécessite une approche multi-barrières incluant la protection des sources, le traitement de l'eau, la gestion sûre du stockage et de la distribution, ainsi que l'éducation des consommateurs. Cependant, la fragmentation institutionnelle et l'insuffisance des ressources limitent l'efficacité de la gestion des risques dans la ZMPP (Jérôme et al., 2021).

2.5. Traitement de l'eau potable

2.5.1. Technologies conventionnelles et leurs limitations

Les technologies conventionnelles de traitement de l'eau (coagulation-floculation, décantation, filtration, désinfection) sont bien établies mais nécessitent des infrastructures importantes, une expertise technique et des intrants chimiques réguliers. Dans le contexte de la ZMPP, l'insuffisance des ressources financières et institutionnelles limite le déploiement de ces systèmes à grande échelle.

La chloration reste la méthode de désinfection la plus répandue mais présente des limitations importantes. Bien qu'efficace contre les bactéries et la plupart des virus, elle est peu efficace contre Cryptosporidium qui résiste aux concentrations de chlore habituellement utilisées. De plus, le goût et l'odeur du chlore réduisent l'acceptabilité de l'eau traitée par certains consommateurs (Brasseur et al., 2011).

2.5.2. Technologies à faible coût adaptées au contexte haïtien

Plusieurs technologies à faible coût présentent un potentiel élevé pour améliorer la qualité de l'eau dans la ZMPP. Ces technologies se caractérisent par leur accessibilité financière, leur simplicité d'utilisation, leur maintenance minimale et l'utilisation de matériaux localement disponibles.

Les charbons actifs produits à partir de biomasse locale constituent une solution particulièrement prometteuse. Les travaux pionniers d'Altenor et al. (2009, 2012) ont démontré la faisabilité de produire des charbons actifs de haute qualité à partir de déchets lignocellulosiques caribéens, notamment les racines de vétiver (Vetiveria zizanioides), la bagasse de canne à sucre et l'algue Turbinaria turbinata.

Altenor et al. (2009) ont développé un procédé d'activation chimique à l'acide phosphorique (H_3PO_4) permettant d'obtenir des charbons actifs avec des surfaces spécifiques dépassant 1000 m²/g et des rendements de production allant jusqu'à 49%. Ces charbons présentent une excellente capacité d'adsorption pour le bleu de méthylène et le phénol, suggérant leur efficacité pour éliminer divers contaminants organiques et métaux lourds.

Altenor et al. (2012) ont caractérisé les propriétés texturales et physicochimiques de l'algue Turbinaria turbinata et de ses matériaux carbonés dérivés pour des applications de traitement de l'eau. Leurs résultats montrent que ces matériaux possèdent une

structure microporeuse favorable à l'adsorption de divers polluants, y compris les métaux lourds comme le plomb et le cadmium.

Plus récemment, Francoeur et al. (2021) ont synthétisé du charbon actif à partir de Sargassum pour l'adsorption de la caféine, démontrant l'efficacité de cette approche et utilisant la modélisation moléculaire pour comprendre les mécanismes d'adsorption. Cette étude ouvre la voie à l'utilisation de Sargassum, une algue abondante dans la Caraïbe, comme source de charbon actif.

Au-delà des charbons actifs, d'autres technologies méritent attention : les filtres biosables (Biosand Filters) qui combinent filtration mécanique et activité biologique ; la chloration décentralisée au point d'utilisation ; la désinfection solaire (SODIS) utilisant le rayonnement UV naturel ; et la collecte et le traitement de l'eau de pluie.

2.5.3. Approches intégrées et multi-barrières

L'OMS recommande une approche multi-barrières pour assurer la qualité de l'eau, intégrant la protection des sources, le traitement, la gestion sûre du stockage et de la distribution, et le suivi de la qualité. Dans le contexte haïtien, cette approche nécessite d'être adaptée aux réalités locales, en combinant solutions techniques simples, participation communautaire et renforcement Institutionnel. Jérôme et al. (2017, 2021) ont étudié la problématique de l'eau dans les quartiers informels, notamment à Canaan, proposant une approche de gouvernance participative impliquant les communautés locales dans la gestion de l'eau. Cette dimension sociale et participative est essentielle pour assurer la durabilité des interventions techniques.

3. Méthodologie

3.1. Matériels et méthodes

3.1.1. Stratégie de recherche documentaire

Cette synthèse de la littérature s'appuie sur une recherche systématique d'articles scientifiques, de rapports techniques et de documents institutionnels publiés entre 2000 et 2025. Les bases de données consultées incluent PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar et HAL Archives Ouvertes. Les mots-clés utilisés (en français et en anglais) incluaient : 'qualité eau', 'water quality', 'Port-au-Prince', 'Haïti', 'contamination', 'métaux lourds', 'heavy metals', '*Cryptosporidium*', 'coliformes', 'traitement eau', 'water treatment', combinés avec des opérateurs booléens.

3.1.2. Critères de sélection

Les critères d'inclusion étaient : (1) études portant sur la qualité de l'eau dans la ZMPP ou en Haïti de manière générale ; (2) études sur les contaminants chimiques ou microbiologiques dans l'eau ; (3) études sur les technologies de traitement adaptées aux pays en développement ; (4) études sur les risques sanitaires liés à l'eau ; (5) documents de politiques publiques sur l'eau et d'assainissement en Haïti.

Les critères d'exclusion étaient : (1) études ne fournissant pas de données primaires ou de synthèse substantielle ; (2) documents non accessibles en texte intégral ; (3) études sans pertinence directe pour la problématique de la qualité de l'eau.

3.1.3. Extraction et synthèse des données

Pour chaque source retenue, les informations suivantes ont été extraites : auteurs, année de publication, lieu d'étude, type de source d'eau analysée, contaminants étudiés, méthodes analytiques, résultats principaux et conclusions. Les données quantitatives (concentrations de contaminants, prévalences, estimations de risques) ont été compilées dans des tableaux de synthèse.

L'analyse thématique a permis d'organiser la littérature autour de cinq axes : (1) caractérisation de la contamination ; (2) sources et mécanismes de contamination ; (3) impacts sanitaires et évaluation des risques ; (4) technologies de traitement ; (5) gouvernance et politiques publiques.

3.1.4. Cadre d'analyse

L'analyse s'inscrit dans le cadre de l'ODD 6 qui vise l'accès universel à l'eau potable et à l'assainissement d'ici 2030. Les cibles spécifiques de l'ODD 6 pertinentes pour cette étude incluent : la cible 6.1 (accès universel et équitable à l'eau potable), la cible 6.2 (accès à l'assainissement et à l'hygiène), la cible 6.3 (amélioration de la qualité de l'eau), et la cible 6.b (participation des communautés locales).

L'approche intègre également les principes de l'évaluation quantitative des risques sanitaires, permettant de hiérarchiser les contaminants selon leur importance pour la santé publique et de guider les priorités d'intervention.

4. Résultats et discussions

4.1. Données de base sur la contamination

4.1.1. Contamination microbiologique

La synthèse de la littérature révèle une contamination microbiologique généralisée et persistante de l'eau dans la ZMPP. Les coliformes fécaux et E. coli sont détectés dans 75% à 95% des échantillons prélevés dans les puits non protégés et les systèmes informels de distribution (Dauphin et al., 2025). Cette prévalence extrêmement élevée indique une contamination fécale chronique liée directement à l'absence d'assainissement adéquat.

Pour Cryptosporidium, les données de Brasseur et al. (2011) et Balthazard-Accou et al. (2017) montrent une prévalence de contamination de 13,3% à 26,7% selon les types de sources, avec des densités moyennes de 1 à 10 oocystes par litre. Ces niveaux de contamination sont significativement plus élevés que ceux observés dans des pays développés où la prévalence dépasse rarement 5%.

4.1.2. Contamination par les métaux lourds

Les concentrations de plomb mesurées par Emmanuel et al. (2007) dans différents quartiers de Port-au-Prince varient de 15 à 150 µg/L, soit 1,5 à 15 fois la valeur guide de l'OMS (10 µg/L). Les quartiers les plus anciens, avec des canalisations en plomb ou des soudures au plomb, présentent les concentrations les plus élevées.

Les études de Fifi et al. (2009, 2013) indiquent des concentrations de cadmium allant de 0,5 à 8 µg/L (valeur guide OMS : 3 µg/L) et de cuivre de 50 à 500 µg/L (valeur guide OMS : 2000 µg/L). Bien que les concentrations de cuivre restent généralement en dessous des seuils sanitaires, celles de cadmium dépassent fréquemment les normes dans les zones industrielles et les quartiers proches des décharges.

Tableau 1 : Synthèse des niveaux de contamination dans la ZMPP

Contaminant	Concentration mesurée	Valeur guide OMS	% échantillons non conformes	Référence
Coliformes fécaux	>100 UFC/100mL	0 UFC/100mL	75-95%	Dauphin et al., 2025
E. coli	>10 UFC/100mL	0 UFC/100mL	75-95%	Dauphin et al., 2025
Cryptosporidium	1-10 oocystes/L	0 oocyste/L	13-27%	Brasseur et al., 2011; Balthazard-Accou et al., 2017
Plomb (Pb)	15-150 µg/L	10 µg/L	60-80%	Emmanuel et al., 2007
Cadmium (Cd)	0,5-8 µg/L	3 µg/L	30-50%	Fifi et al., 2009, 2013
Cuivre (Cu)	50-500 µg/L	2000 µg/L	<10%	Fifi et al., 2009
Nitrates	10-80 mg/L	50 mg/L	15-25%	Emmanuel et al., 2013

4.2. Analyse de la variabilité des résultats

La variabilité spatiale de la contamination dans la ZMPP est considérable. Les quartiers informels (bidonvilles), dépourvus d'infrastructures d'assainissement, présentent systématiquement les niveaux de contamination microbienne les plus élevés. À Canaan, quartier informel étudié par Jérôme et al. (2017, 2021), plus de 90% des échantillons d'eau présentent une contamination fécale.

La variabilité temporelle est également significative. La saison des pluies aggrave la contamination microbiologique par le ruissellement et l'infiltration d'eaux de surface contaminées dans les aquifères peu profonds. Les inondations urbaines, fréquentes dans

certains quartiers bas, provoquent des pics de contamination qui peuvent persister plusieurs semaines.

La variabilité selon le type de source est marquée. Les puits privés peu profonds (<15m) présentent les taux de contamination les plus élevés, tandis que les forages profonds (>50m) captant des aquifères confinés montrent généralement une meilleure qualité microbiologique, mais peuvent être plus chargés en métaux lourds du fait de la dissolution des minéraux.

4.3. Test des hypothèses et analyse

L'hypothèse selon laquelle la qualité de l'eau est significativement dégradée dans la ZMPP comparativement aux normes internationales est amplement confirmée par les données. Pour pratiquement tous les paramètres microbiologiques et une majorité de paramètres chimiques, les concentrations mesurées dépassent les valeurs guides de l'OMS.

L'hypothèse d'une association entre la qualité de l'eau et les indicateurs de santé est étayée par plusieurs études. Yan et al. (2022) ont démontré statistiquement le lien entre plombémie et hypertension. Michel et al. (2021) ont montré des prévalences de parasitoses intestinales significativement plus élevées dans les quartiers où l'accès à l'eau potable est limité.

L'hypothèse selon laquelle des technologies à faible coût peuvent améliorer significativement la qualité de l'eau est soutenue par les travaux d'Altenor et al. (2009, 2012) qui ont démontré l'efficacité des charbons actifs locaux pour réduire les concentrations de métaux lourds et de composés organiques de plus de 90% dans des conditions expérimentales.

4.4. Discussions et comparaisons

4.4.1. Comparaison avec d'autres contextes urbains

Comparée à d'autres capitales de pays à faible revenu, la situation de la ZMPP présente des similitudes mais aussi des spécificités. Comme à Dakar (Sénégal), Nairobi (Kenya) ou Lima (Pérou), la ZMPP connaît une forte dépendance au secteur informel pour l'approvisionnement en eau et une contamination généralisée des sources non protégées.

Cependant, la ZMPP se distingue par : (1) l'absence presque totale de réseau d'assainissement à grande échelle (contrairement à Dakar ou Lima qui disposent de réseaux partiels) ; (2) une fragmentation institutionnelle, particulièrement marquée limitant l'efficacité de la gouvernance ; (3) une vulnérabilité aux catastrophes naturelles (séismes, ouragans) qui perturbent régulièrement les infrastructures existantes.

Les niveaux de contamination par *Cryptosporidium* dans la ZMPP (13-27%) sont comparables à ceux observés dans d'autres villes tropicales (10-30%), mais nettement supérieurs à ceux des pays développés (<5%). Pour les métaux lourds, les concentrations de plomb sont similaires à celles mesurées dans d'autres contextes avec des canalisations anciennes, mais la proportion de la population exposée est plus élevée du fait de la couverture limitée en eau traitée.

4.4.2. Efficacité des technologies de traitement

Les charbons actifs produits à partir de biomasse caribéenne par Altenor et al. (2009, 2012) présentent des performances comparables aux charbons actifs commerciaux pour l'élimination des métaux lourds et des composés organiques. Les capacités d'adsorption mesurées (50-200 mg/g pour le plomb, 30-100 mg/g pour le cadmium) sont dans la gamme haute des matériaux adsorbants.

L'avantage majeur de ces technologies réside dans leur coût (3 à 5 fois inférieur aux charbons actifs commerciaux importés) et dans l'utilisation de matériaux localement disponibles, réduisant la dépendance aux importations. La production locale de charbons actifs pourrait également créer des opportunités économiques dans la valorisation de déchets agricoles.

Pour la désinfection, la chloration décentralisée et les filtres biosables ont démontré leur efficacité dans des contextes similaires (Kenya, Bangladesh, Cambodge), avec des réductions de contamination fécale de 90-99%. Leur déploiement dans la ZMPP nécessiterait cependant un accompagnement fort en termes de formation, de fourniture d'intrants et de suivi de la qualité.

4.4.3. Défis de gouvernance et de mise en œuvre

Les études de Jérôme et al. (2017, 2021) soulignent l'importance de la gouvernance participative pour la durabilité des interventions. À Canaan, les tentatives d'amélioration de l'approvisionnement en eau ont échoué en l'absence d'implication effective des communautés et de coordination entre les acteurs (DINEPA, ONG, secteur privé).

Adamson et al. (2022) plaident pour une amélioration des connaissances hydrogéologiques d'Haïti comme base pour le développement et la récupération. Cette connaissance approfondie des ressources en eau souterraines est essentielle pour une gestion durable et une protection efficace contre la contamination.

5. Conclusion

5.1. Rappel des buts et méthodes

Cette synthèse de la littérature visait à dresser un état des lieux de la qualité de l'eau dans la ZMPP, à identifier les risques sanitaires associés, à présenter les technologies de traitement adaptées et à formuler des recommandations de politiques publiques. L'approche a consisté en une revue systématique de 32 publications scientifiques et documents techniques, analysés dans le cadre de l'ODD 6.

5.2. Principaux résultats

Les résultats confirment une contamination multifactorielle et chronique de l'eau dans la ZMPP. Les principaux contaminants identifiés sont : (1) microbiologiques - coliformes

fécaux, *E. coli* (75-95% des échantillons), *Cryptosporidium* (13-27%) ; (2) chimiques - plomb (60-80% au-dessus des normes), cadmium (30-50%), nitrates (15-25%).

Les risques sanitaires associés incluent les maladies diarrhéiques, la cryptosporidiose, l'hypertension liée au plomb, et potentiellement des troubles du développement infantile. L'évaluation quantitative des risques indique des niveaux inacceptables pour plusieurs contaminants.

Les technologies de traitement à faible coût identifiées comme prometteuses incluent les charbons actifs de biomasse locale (vétiver, bagasse, algues), les filtres biosables, la chloration décentralisée et la désinfection solaire. Ces technologies peuvent réduire la contamination de 90-99% pour un coût accessible.

5.3. Limites de l'étude

Cette synthèse présente plusieurs limites. Premièrement, la couverture géographique des études disponibles est inégale, certains quartiers étant sur-représentés tandis que d'autres manquent de données. Deuxièmement, peu d'études longitudinales permettent d'analyser les tendances temporelles. Troisièmement, les données sur les contaminants émergents (microplastiques, produits pharmaceutiques, perturbateurs endocriniens) restent très limitées.

Quatrièmement, les études d'évaluation des risques sanitaires reposent sur des modèles développés dans des contextes différents, et leur transposition au contexte haïtien comporte des incertitudes. Enfin, l'efficacité réelle des technologies de traitement dans des conditions d'utilisation communautaire, au-delà des conditions contrôlées de laboratoire, nécessite davantage de documentation.

5.4. Portée et implications

Cette synthèse établit une base de connaissance actualisée sur la qualité de l'eau dans la ZMPP, essentielle pour guider les interventions de santé publique et les politiques de développement. Les données compilées permettent de hiérarchiser les contaminants selon leur importance sanitaire et d'identifier les zones géographiques prioritaires.

Les implications pour les politiques publiques sont multiples : (1) nécessité d'investissements massifs dans l'assainissement, condition sine qua non de l'amélioration durable de la qualité de l'eau ; (2) potentiel des technologies à faible coût pour des interventions rapides et à large échelle ; (3) importance de la gouvernance participative et de la coordination multi-acteurs ; (4) urgence d'un système de surveillance continue de la qualité de l'eau.

5.5. Perspectives et recommandations

5.5.1. Recommandations de politiques publiques

1. Renforcement institutionnel : Création d'un Observatoire National de la Qualité de l'Eau centralisant les données, assurant le monitoring et diffusant l'information au public.

Clarification des mandats et coordination renforcée entre DINEPA, MSPP et municipalités.

2. Investissements prioritaires : (a) Assainissement : construction de systèmes décentralisés de traitement des eaux usées dans les quartiers informels ; (b) Protection des sources : périmètres de protection autour des captages et forages ; (c) Traitement : installation de systèmes décentralisés utilisant des technologies à faible coût dans les écoles, centres de santé, marchés.

3. Régulation du secteur informel : Mise en place d'un système de certification et de contrôle qualité pour les kiosques privés, avec incitations (subventions, formation) pour ceux respectant les normes.

4. Programmes de sensibilisation : Campagnes massives sur les risques liés à l'eau non traitée et les méthodes de traitement domestique (chloration, ébullition, filtres), ciblant écoles, centres de santé et marchés.

5. Mobilisation de financements : Mécanismes innovants incluant microfinancement pour systèmes domestiques, tarification progressive de l'eau, partenariats public-privé, et fonds national alimenté par taxes environnementales.

5.5.2. Pistes de recherche futures

***1.* Cartographie détaillée** : Études géospatiales par SIG pour identifier des zones vulnérables, sources de pollution et ciblage des interventions prioritaires.

2. Études épidémiologiques : Recherches longitudinales établissant liens quantitatifs entre qualité de l'eau et indicateurs de santé (prévalence maladies diarrhéiques, troubles développement infantile, maladies rénales, hypertension).

3. Développement technologique : (a) Optimisation des procédés de production de charbons actifs pour mise à l'échelle industrielle locale ; (b) Exploration d'autres biomasses locales (coques de coco, noyaux de fruits, déchets agricoles) ; (c) Développement de systèmes hybrides combinant plusieurs technologies (filtration + adsorption + désinfection).

4. Évaluation socio-économique : Études sur acceptabilité sociale et viabilité économique des technologies dans contexte haïtien, avec approche participative impliquant communautés.

5. Contaminants émergents : Recherche sur microplastiques, produits pharmaceutiques, perturbateurs endocriniens, résidus de pesticides. Acquisition d'équipements analytiques modernes et formation de chercheurs locaux.

6. Modélisation prospective : Développement de modèles prédictifs intégrant changements climatiques, croissance démographique et évolution urbaine pour anticiper besoins futurs et risques de contamination.

7. Gouvernance : Recherche-action en sciences sociales et politiques sur mécanismes de gouvernance efficaces, participation communautaire et coordination multi-acteurs, avec analyse d'expériences transposables d'autres pays.

5.6. Conclusion finale

L'amélioration durable de la qualité de l'eau dans la ZMPP exige une mobilisation collective impliquant des autorités, société civile, secteur privé, communauté scientifique et coopération internationale. Les défis sont immenses mais les solutions existent. L'atteinte de l'ODD 6 en Haïti d'ici 2030 demeure possible si des actions urgentes et coordonnées sont entreprises dès maintenant.

L'eau propre pour tous à Port-au-Prince n'est pas un rêve impossible, mais un objectif atteignable qui exige un engagement collectif immédiat, des investissements soutenus et une volonté politique ferme. Chaque jour de retard se traduit par des vies perdues et des opportunités de développement manquées. L'heure n'est plus au diagnostic mais à l'action.

Références bibliographiques

Adamson, J. K., Gutierrez, A., Perez-Monforte, S., Rodriguez-Vera, M., LaVanchy, G. T., Jean-Baptiste, G., Emmanuel, E., Moliere, E., Gelting, R., Miner, W., & Dykstra, S. (2022). Topical Collection: Advancements in hydrogeological knowledge of Haiti for recovery and development. Hydrogeology Journal, 30, 1-4. https://doi.org/10.1007/s10040-022-02518-0

Altenor, S., Carene, B., Emmanuel, E., Lambert, J., Ehrhardt, J.-J., & Gaspard, S. (2009). Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation. Journal of Hazardous Materials, 165(1-3), 1029-1039. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.133

Altenor, S., Ncibi, M. C., Emmanuel, E., & Gaspard, S. (2012). Textural characteristics, physiochemical properties and adsorption efficiencies of Caribbean alga Turbinaria turbinata and its derived carbonaceous materials for water treatment application. Biochemical Engineering Journal, 67, 35-44. https://doi.org/10.1016/j.bej.2012.05.002

Apply, A., Benjamin, F., Raymond, L., Michel, D., St Louis, D., & Emmanuel, E. (2021). Social Representations Of Diseases Linked To Climate Change In The Population Of A Slum District: A Case Study From Haiti. European Scientific Journal, ESJ, 17(15), 262. https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n15p262

Balthazard-Accou, K., Emmanuel, E., Diouf, M., & Agnamey, P. (2017). Microbiological contamination of groundwater by Cryptosporidium oocysts in Haiti. Health risk assessment for population. Aqua-LAC, 9(1), 51-63. https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2017-v9-1-05

Bras, A., Emmanuel, E., Lilite, O., Brasseur, P., Pape, J. W., & Raccurt, C. (2007). Évaluation du risque dû à Cryptosporidium sp présent dans l'eau de boisson à Port-au-Prince, Haïti. Environnement, Risques et Santé, 6(5), 355-364.

Brasseur, P., Agnamey, P., Emmanuel, E., Pape, J. W., & Raccurt, C. (2011). Cryptosporidium oocysts contamination of surface waters and public water supplies in Port-au-Prince,

Haiti. Archives of Environmental & Occupational Health, 66(1), 12-17. https://doi.org/10.1080/19338244.2010.506492

Dauphin, B. T. A., Pierre, R. M., Emmanuel, A., Millien, M. F., & Emmanuel, E. (2025). Qualité de l'eau dans la Zone Métropolitaine de Port-au-Prince : Une synthèse systématique. HAL Archives, hal-05217023. https://hal.science/hal-05217023v1

Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DINEPA). (2020). Plan stratégique du secteur de l'eau potable et de l'assainissement en Haïti 2020-2030. Port-au-Prince, Haïti.

Emmanuel, E., Angerville, R., Joseph, O., & Perrodin, Y. (2007). Human health risk assessment of lead in drinking water: A case study from Port-au-Prince, Haiti. International Journal of Environment and Pollution, 31(3/4), 280-291. https://doi.org/10.1504/IJEP.2007.016496

Emmanuel, E., Lacour, J., Balthazard-Accou, K., & Joseph, O. (2009). Ecological hazards assessment of heavy metals and nutrients containing in urban effluents on bay ecosystems of Port-au-Prince (Haiti). AQUA-LAC, 1(1), 18-28. https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2009-v1-1-02

Emmanuel, E., Pierre, M. G., & Perrodin, Y. (2009). Groundwater contamination by microbiological and chemical substances released from hospital wastewater: Health risk assessment for drinking water consumers. Environment International, 35(4), 718-726. https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.01.011

Emmanuel, E., Simon, Y., & Joseph, O. (2013). Characterization of hardness in the groundwater of Port-au-Prince. An overview on the health significance of magnesium in the drinking water. Aqua-LAC, 5(2), 35-43. https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2013-v5-2-04

Fifi, U., Winiarski, T., & Emmanuel, E. (2009). Sorption Mechanisms Studies of Pb (II), Cd (II) and Cu (II) into Soil of Port-au-Prince. AQUA-LAC, 1(2), 164-171. https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2009-v1-2-06

Fifi, U., Winiarski, T., & Emmanuel, E. (2013). Assessing the Mobility of Lead, Copper and Cadmium in a Calcareous Soil of Port-au-Prince, Haiti. International Journal of Environmental Research and Public Health, 10(11), 5830-5843. https://doi.org/10.3390/ijerph10115830

Francoeur, M., Ferino-Pérez, A., Yacou, C., Jean-Marius, C., Emmanuel, E., Chérémond, Y., David, E., Joffrey, M., & Gaspard, S. (2021). Activated carbon synthetized from Sargassum (sp) for adsorption of caffeine: Understanding the adsorption mechanism using molecular modeling. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(1), 104795. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104795

Jérôme, Y., Emmanuel, E., Roy, P.-M., & Bodson, P. (2017). The issue of water in the slums development in Haiti: A case study from Canaan. AQUA-LAC, 9(1), 87-97. https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2017-v9-1-08

Jérôme, Y., Emmanuel, E., & Saffache, P. (2021). Global water governance and water rights through the prism of Canaan, a slum apart in Haiti. Aqua-LAC, 13(1), 34-44. https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2021-v13-1-03

Michel, D., Raymond, L., Apply, A., St Louis, D., Balthazard-Accou, K., Millien, M. F., & Emmanuel, E. (2021). Contribution to the Diagnostic Study of Intestinal Parasitosis, Haiti. European Scientific Journal, ESJ, 17(17), 64. https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n17p64

Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2017). Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Genève, Suisse. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

Schwartzbrod, J. R., Emmanuel, E., & Brown, D. L. (2013). Haiti's food and drinking water: A review of toxicological health risks. Clinical Toxicology, 51(9), 828-833. https://doi.org/10.3109/15563650.2013.849350

Urbain, F., Winiarski, T., & Emmanuel, E. (2009). Qualité des eaux souterraines urbaines dans les pays en développement : Cas de l'aquifère de la plaine du Cul-de-sac à Port-au-Prince, Haïti. Études et Gestion des Sols, 16(2), 83-92.

Yan, L. D., Rouzier, V., Pierre, J. L., Lee, M. H., Muntner, P., Parsons, P. J., Apollon, A., St-Preux, S., Malebranche, R., Pierre, G., & Emmanuel, E. (2022). High lead exposure associated with higher blood pressure in Haiti: A warning sign for low-income countries. Hypertension, 79(1), 283-290. https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.121.18250

Citation

Ruben Misaac Pierre et Barony Teefard Angelito Dauphin (2006). Regards sur la qualité de l'eau dans la zone métropolitaine de Port-au-Prince : revue de la littérature et perspectives. InfosNation-Espace Sciences et Société le 8 février 2026. https://infosnation.com/25372-2/