

Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux domestiques pendant une épidémie de Choléra à Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

Physico-chemical and bacteriological analyses of domestic water during a Cholera epidemic in Lubumbashi, Democratic Republic of Congo.

Okitandjate Dimandja A^{*1,2}, Chuy Kalombola D^{2,4}, Mwembo Tambwe A^{1,2,3}, Chenge Mukalenge F^{1,2,3}.

1. École de Santé Publique de l'Université de Lubumbashi (ESP-UNILU).
2. Centre de Connaissances en Santé en République Démocratique du Congo (CCSC).
3. Faculté de Médecine de l'Université de Lubumbashi (FACMED-UNILU),
4. Institut Supérieur des Techniques Médicales de Lubumbashi (ISTM-Lubumbashi).

***Auteur correspondant** : OKITANDJATE DIMANDJA Antoine, MPH. Médecin épidémiologiste et biostatisticien. PhD Candidate/ESP-UNILU, drokitandjateantoine@gmail.com ; Téléphone: +243 824862628.

Résumé

Introduction : L'insuffisance en eau potable impose la population à s'approvisionner dans les sources d'eaux disponibles. Cette situation prédispose cette population aux maladies d'origine hydrique. **Objectif** : Déterminer les paramètres physico-chimiques et évaluer les contaminations des eaux domestiques par le *Vibrio cholerae* et d'autres bactéries. **Matériels et méthode** : Il s'agit d'une étude transversale à visée descriptive et analytique, menée à Lubumbashi, en République Démocratique du Congo, de mars en octobre 2023. Quatre-cents échantillons d'eaux des puits aménagés, non aménagés, artisanaux (Bishimpo) et de la Régie de distribution d'eau (Regideso) étaient collectés. L'étude a déterminé la température, le potentiel hydrogène, la conductivité électrique et le taux de solides dissous des échantillons d'eau collectés. L'analyse bactériologique a recherché des bactéries dans les milieux de culture sélectifs. **Résultats** : Les eaux sont alcalines, le taux des solides dissous inférieur à 575mg/ml, la température médiane (min-max) de 25°C (23-29°C) et la conductivité supérieure à 1000 µs/cm. La contamination a été estimée à 52%. *Salmonella typhi*, *Clostridium perfringens* et *Escherichia coli* sont des germes prédominants. Les puits artisanaux et ceux non aménagés sont plus contaminés. Aucun *Vibrio cholerae* n'a été identifié. **Conclusion** : Une variété des bactéries autres que le *Vibrio cholerae* ont été retrouvées dans les eaux domestiques analysées au cours de l'épidémie de choléra qui a sévi à Lubumbashi en 2023. L'absence du *Vibrio cholerae* serait une preuve que la propagation de l'épidémie n'était pas due à la contamination d'eaux des sources domestiques. La promotion de l'utilisation de l'eau des puits aménagés et de la Regideso ainsi que la décontamination systématique préalable de l'eau des autres sources sont fortement recommandées. Une étude concomitante des souches cliniques et environnementales du *Vibrio cholerae* pourrait apporter d'autres évidences à l'adaptation des stratégies de contrôle. **Mot clés** : analyse, bactériologie, Eau domestique, physico-chimique, Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

Abstract

Introduction: The lack of drinking water requires the population to source water from available sources. This predisposes this population to waterborne diseases. **Objective**: To determine the physico-chemical parameters and to evaluate the contamination of domestic water by *Vibrio cholerae* and other bacteria. **Materials and methods**: This is a cross-sectional descriptive and analytical study, conducted in Lubumbashi, Democratic Republic of Congo, from March to October 2023. Four hundred samples of water were collected from developed wells, undeveloped wells, artisanal wells (Bishimpo) and the Water Distribution Board (Regideso). The study determined temperature, hydrogen potential, electrical conductivity and dissolved solids of collected samples. Bacteriological analysis looked for bacteria in selective culture media. **Results**: The water is alkaline, the dissolved solids levels are less than 575mg/ml, the median temperature (min-max) is 25°C (23-29°C), and the conductivity is greater than 1000 µs/cm. Contamination rate was estimated at 52%. *Salmonella typhi*, *Clostridium perfringens* and

Escherichia coli are predominant. Artisanal and undeveloped wells are more contaminated than others. No *Vibrio cholerae* was identified. **Conclusion:** A variety of bacteria other than *Vibrio cholerae* were found in domestic water sources analyzed during the 2023 Cholera outbreak in Lubumbashi. The absence of *Vibrio cholerae* would be the proof that the spread of the epidemic was not due to the consumption of water from domestic sources. The promotion of the use of water from developed wells and Regideso, as well as the systematic prior decontamination of water from other sources are strongly recommended. A concomitant clinical and environmental study of *Vibrio cholerae* strains would bring further evidence for the adaptation of the control strategies. **Key words :** analysis, bacteriology, domestic water, Lubumbashi, physico-chemical, Democratic Republic of Congo.

INTRODUCTION

Le Choléra reste un problème majeur de santé publique et un indicateur de l'absence d'équité et d'un développement social suffisant [1]. C'est une maladie infectieuse, strictement humaine, très contagieuse et rapidement mortelle. Il se transmet par l'ingestion d'eaux ou d'aliments contaminés par le *Vibrio cholerae* toxigènes, O1 et O139 [1,2]. Le Choléra se manifeste par une diarrhée aiguë aqueuse s'accompagnant ou non des vomissements. Le *Vibrio cholerae* s'adapte à certains environnements aquatiques tels que les eaux douces. Cette bactérie peut même résister au froid si certains paramètres physico-chimiques sont favorables à sa survie et sa reproduction [3 ;4].

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) estime à près de 3 millions de Cas de Choléra et à plus de 95 000 de décès dus au Choléra chaque année dans le monde [5]. Selon l'OMS, la notification de cette maladie a presque doublé entre 2018 (499 447) et 2019 (923 037) dans 31 pays. Annuellement, près de 1,3 à 4 millions de Cas et 21 000 à 143 000 décès de Choléra sont rapportés dans le monde [5,7]. Toutes les régions du monde déclarent des cas de Choléra. L'Afrique est le continent le plus touché et concentre près de 50% des Cas de choléra [6 ;7]. Par ailleurs, il a été constaté une sous notification des Cas par les pays à faible revenu, due notamment par la faiblesse de système de surveillance épidémiologique [5;9-10].

En 2006, le taux de létalité du Choléra a été de 1,8%, mais a dépassé les 6% parmi les groupes vulnérables résidant dans des zones à haut risque [6-8].

En 2017, la RDC a rapporté 54 588 Cas et 1 145 décès, soit un taux de létalité de 2.1% [8]. Ces chiffres représentent plus du double de la moyenne de la notification annuelle (20 000 cas) de 2012 à 2016 [8,9].

A Lubumbashi, capitale économique de la RDC, 5112 Cas et 146 décès dus au Choléra ont été notifiés, un taux de létalité de 2,9%, de janvier 2017 à décembre 2020 [11].

La gravité du Choléra et la vulnérabilité des individus sont respectivement liées aux souches, à l'environnement du *Vibrio cholerae* et à la sensibilité aux antibiotiques [10-12].

Depuis 1961, le sérotype de *Vibrio cholerae* O1 ou O139 provoque des épidémies dévastatrices [11,12]. Le *Vibrio cholerae* O1, biotype El Tor est l'un des pathogènes humains les plus anciens et les plus connus [13,14]. Cependant, beaucoup reste à comprendre sur le milieu de vie du *Vibrio cholerae*, l'épidémiologie, l'écologie, les associations entre les milieux aquatiques et le *Vibrio cholerae* ainsi que l'évolution du Choléra, [11,14-16].

L'OMS recommande l'antibiothérapie aux Cas graves et modérés, mais l'émergence des souches du *Vibrio cholerae* multi-résistantes limite leurs usages [7,17]. L'eau contaminée par le *Vibrio cholerae* joue un rôle important dans la transmission du Choléra [5,6]. Cette situation est amplifiée par pénurie d'eau, car près de 663 millions de personnes au monde n'ont pas accès à l'eau potable [18].

A notre connaissance, à Lubumbashi, la recherche systématique du *Vibrio cholerae* dans les eaux domestiques pendant les flambées épidémiques de Choléra n'est pas encore réalisée. L'objectif de cette étude était de déterminer les paramètres physico-chimiques et évaluer les contaminations des eaux domestiques par le *Vibrio cholerae* et d'autres bactéries. Comme suggéré par Djaouda et al.[19], la connaissance d'une telle information permettrait d'adapter la stratégie de contrôle de Choléra à Lubumbashi durant les flambées épidémiques.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

Cette recherche a été menée dans les 11 Zones de Santé (ZS) de Lubumbashi, dans la province du Haut-Katanga, au Sud-est de la RDC. Sa population a été estimée en 2023 à 2 812 000 habitants pour une superficie 747 km², soit une densité de 3 764 hab./km² [20]. A Lubumbashi, en dehors des pluies intermittentes, le climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons, la saison sèche, d'avril à octobre et la saison de pluies, d'octobre à avril. L'hydrographie de la ville de Lubumbashi est renseignée dans la figure 1.

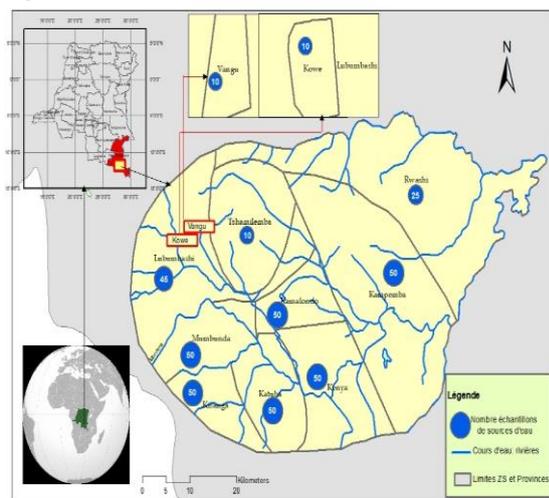


Figure 1 : Carte Sanitaire et hydrographique la ville de Lubumbashi (Adaptée de [21]) et répartition de l'échantillon par zone de santé.

Type et période de l'étude

Il s'agit d'une étude transversale à visée descriptive et analytique réalisée de mars à octobre 2023. Le choix de la période est expliqué par la survenue d'une épidémie de Choléra qui a été confirmée en mars 2023 par le Laboratoire provincial de Lubumbashi et celle-ci a évolué jusqu'en octobre 2023 (Fig.2).

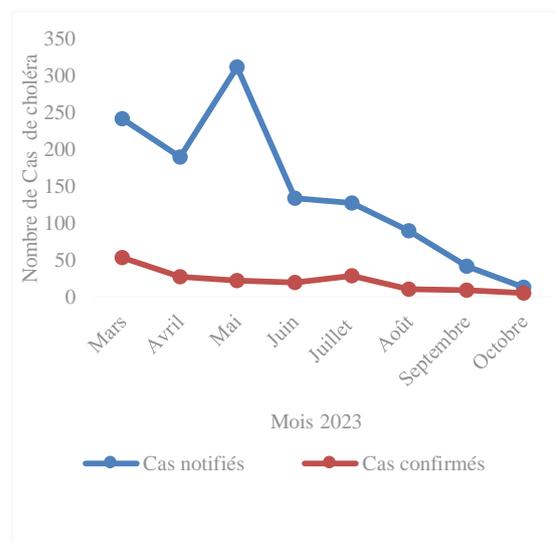


Figure 2 : Évolution mensuelle des Cas notifiés et confirmés de Choléra à Lubumbashi, du 1er mars au 31 octobre 2023 (Source : Base de données IDS DPS Haut-Katanga).

Echantillonnage d'eaux domestiques dans les Zones de Santé de Lubumbashi.

La taille de l'échantillon a été estimée à l'aide de la fonction StatCalc du logiciel Epi-Info, version 7.2.6. A Lubumbashi, l'incidence de contamination des sources d'eau de consommation est de 6% [11]. Cette étude a collecté 400 échantillons d'eaux (Tab.I).

Parmi les critères, nous citons : la proximité des habitations avec la source d'eaux, de notification des Cas des diarrhées, et l'utilisation d'eau (vessalles, lavage, baignade, boisson, nettoyage des habits, préparation des aliments, lavage des fruits, la pêche artisanale) faite de l'eau [1,20].

Quatre principales sources d'eau ont été ciblées, à savoir: l'eau des puits non aménagés, des puits aménagés, artisanaux (Bishimpo, en langue Swahili) et de la société Régie de Distribution d'Eau (Regideso). Le tableau I présente la distribution de l'échantillon en fonction de la zone de santé.

Tableau I : Répartition des échantillons d'eaux domestiques collectés par source et Zone de Santé, à Lubumbashi, de mars à octobre 2023.

Zones de Santé	Sources d'eaux domestiques				Total
	Puits aménagés	Puits non aménagés	Regi-deso	Kishimpo	
Kamalondo	16	4	9	21	50
Kampemba	15	13	9	13	50

Katuba	15	4	9	22	50
Kenya	14	4	10	22	50
Kisanga	22	5	1	22	50
Kowe	3	3	2	2	10
Lubumbashi	15	4	9	22	50
Mumbunda	22	12	3	13	50
Rwashi	5	5	5	5	20
Vangu	3	3	2	2	10
Total	133	60	61	146	400

Collecte des échantillons d'eaux domestiques

Les échantillons ont été prélevés de mars à octobre 2023 dans les différentes sources d'eaux domestiques (tableau II). Le prélèvement des échantillons à considérer la nature des analyses à effectuer. Pour les analyses biologiques, les échantillons ont été prélevés au moyen des bouteilles en verre lavées et stérilisées dans un four Pasteur à des températures de l'ordre de 120°C à 180°C pendant vingt minutes et par flambage à l'aide d'un bec bunsen. Les bouteilles étaient hermétiquement fermées après la stérilisation et ouvertes uniquement lors du prélèvement et refermées aussitôt. Pour les analyses physico-chimiques, les échantillons ont été recueillis dans des bouteilles propres. Le tableau II présente la collecte des échantillons d'eaux domestiques.

Tableau II : Collecte mensuelle des échantillons d'eaux domestiques au cours de la période d'étude selon la source, à Lubumbashi, mars à octobre 2023.

Sources d'eaux domestiques	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total
Puits aménagé	15	20	13	17	16	17	14	21	133
Puits non aménagé	8	8	7	8	8	8	6	7	60
Regideso	8	8	7	9	8	8	7	6	61
Bishimpo	21	17	20	18	16	17	15	22	146
Total	52	53	47	52	48	50	42	56	400

Analyses

Analyses des échantillons d'eaux domestiques

Les analyses ont été réalisées au Labotest, un laboratoire implanté depuis plus de 22 ans à Lubumbashi. Ce dernier a acquis au fil des années une notoriété liée à la compétence de son personnel et à la disponibilité du matériel nécessaire aux analyses de cette étude.

Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux domestiques à Lubumbashi.

Les paramètres physico-chimiques analysés ont été la température, le potentiel Hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), le taux de solides dissous/Total Dissolved Solids (TDS).

La température a été mesurée in situ à l'aide d'un thermomètre à mercure. Pour les autres analyses, les échantillons ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène de 200 ml, puis acheminés en enceinte réfrigérée au Laboratoire d'analyse. Les techniques utilisées sont celles préconisées par les directives de l'OMS et de l'UNICEF [18] et du cadre de sécurité de l'Eau du Village et École Assainis de la RDC [8]. En effet, le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de marque Aquamaster Tools. La conductivité électrique quant à elle, a été mesurée à l'aide du testeur TDS ou Conductimètre portable, de marque HANNA HI 99301. Les valeurs obtenues ont été comparées aux seuils de l'OMS (Tableau III).

Culture bactérienne des échantillons d'eaux domestiques

Les échantillons d'eaux domestiques ont été cultivés dans des milieux plus spécifiques sur gélose, Thiosulfate Citrate Bile Saccharose (TCBS), c'est-à-dire un milieu différentiel non sélectif utilisé pour l'isolement et la culture de *Vibrio cholerae* et d'autres *Vibrio non cholerae*. En suite, les échantillons ont été ensemencés en parallèle dans les milieux d'enrichissement et d'isolement, puis incubés pendant 16-18h, à 35°C, en anaérobiose.

Pour l'enrichissement sélectif, l'échantillon était inoculé dans un tube d'eau peptonée alcaline (EPA), puis incubé pendant 6 à 8 heures à 35°C et par la suite repiquée sur gélose de type TCBS. Après 16-18h d'incubation sur TCBS, les colonies suspectes de *Vibrio* fermentant le Saccharose apparaissent arrondies, bombées, de taille (2-4 mm), lisses et colorées en jaune.

Pour obtenir une identification définitive des colonies présumées de *Vibrio cholerae*, et des autres bactéries dans les eaux domestiques, des tests supplémentaires biochimiques et de spectrométrie de masse MALDI-TOF étaient réalisés. Pour les isolats des eaux domestiques, la recherche et l'identification de *Vibrio cholerae* s'est réalisée à l'aide des deux milieux, à savoir : TCBS et Alkaline Agar concomitamment. L'identification des autres bactéries a recouru aux milieux de culture

spécifiques, comme *Salmonella Shigella*, *Klebsiella*, etc. (Tableau V).

Le contrôle qualité s'est réalisé selon les méthodes d'ensemencement d'une galerie API 20E, des décarboxylases et les colonies isolées par la recherche de l'oxydase, de l'arginine dihydrolase (ADH), la lysine décarboxylase (LDC) dihydrolase en tube et d'une série de tubes d'eau peptonée salée alcaline (EPA) contenant de 0;3;6;8 à 10 % de NaCl.

Analyses statistiques

Les données des analyses d'eaux domestiques ont été collectées et transcrites dans une base de données Excel 2017. Ensuite, elles ont été organisées, nettoyées et importées vers STATA 12/IC et le logiciel Epi-Info 7.2.6.

Les variables quantitatives à distribution asymétrique étaient décrites par la médiane (minimum-maximum). Nous avons représenté les variables qualitatives par les pourcentages (%) à côté de leurs effectifs (n). Le coefficient de corrélation de Pearson a été déterminé entre les sources d'eaux domestiques et le niveau de contamination pour rechercher les associations. La marge d'erreur (α) de 5%, l'intervalle de confiance à 95% (IC95%) et la puissance de 90% étaient utilisés pour cette étude.

Considérations éthiques : Cette étude fait partie d'une recherche doctorale dont le protocole avait été approuvé par le Comité d'éthique médicale de l'Université de Lubumbashi.

La durée initiale était de deux années (Approbation N° UNILU/CEM/013/2020). Ensuite, une extension de deux années supplémentaires a été obtenue par le comité (Approbation N°. UNILU/CEM/013/2022).

RESULTATS

Analyses physico-chimiques des eaux domestiques

Le tableau III présente les données des paramètres physico-chimiques des eaux domestiques à Lubumbashi, de mars à octobre 2023.

Tableau III : Valeurs médianes (Min-Max) des paramètres physico-chimiques des eaux domestiques à Lubumbashi, en RDC, mars à octobre 2023.

Paramètres physico-chimiques des eaux domestiques				
Source	pH en UC	T° en °C	TDS en mg/l	CE en µs/cm
d'eaux				

Puits aménagés (n= 133)	8,14 (6,67-8,89)	25 (23-29)	5007 (298-587)	1223 (956-1190)
Puits non aménagés (n= 60)	8,08 (7,09-8,76)	25 (24-28)	498,45 (294-858)	1108 (972-1188)
Regideso (n= 61)	7,86 (7,23-8,88)	25 (23-28)	500,2 (312-589)	1108 (944-1189)
Bishimpo (n= 146)	8,04 (6,67-8,87)	25 (24-28)	501,9 (294-585)	1123 (944-1189)
Valeurs de référence [30]	6,5 - 9	25	≤ 1000	50 - 1500

Le tableau III montre que les paramètres physico-chimiques sont dans les limites des valeurs de référence définies par l'OMS.

Analyses bactériologiques des eaux des sources domestiques à Lubumbashi.

Contamination bactérienne

Les résultats de la contamination bactérienne des eaux domestiques en fonction des sources d'eau à Lubumbashi, de mars à octobre 2023 sont présentés au tableau IV.

Tableau IV : Niveau de contamination bactérienne des eaux domestiques selon la source à Lubumbashi, en République Démocratique du Congo, mars à octobre 2023.

Sources d'eaux domestiques	Échantillons prélevés	Contamination bactérienne	
	n	n	%
Puits aménagés	133	1	0,75
Puits non aménagés	60	59	98,3
Régie de distribution d'eau	61	1	1,64
Puits traditionnels Bishimpo	146	145	99,3
Total (n=400)	400	206	51,5

Les analyses bactériologiques ont montré que 206 des 400 prélèvements étaient contaminés par les bactéries pathogènes, soit un taux de contamination de 52%. Cette contamination des sources d'eaux a été constatée à plus de 98% dans les puits non protégés et les Bishimpo, de manière significative (p=0.02). Les eaux de la Regideso et des puits aménagés, ont été très faiblement contaminés (Tab. IV).

Nature des germes responsables de la contamination des eaux domestiques.

La description et la nature des germes de la contamination des eaux domestiques sont résumées au tableau V.

Tableau V : Germes isolés dans les eaux domestiques selon la source à Lubumbashi, en République Démocratique du Congo, mars à octobre 2023.

Sources d'eaux domestiques contaminées.	Bactéries pathogènes isolées					
	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella typhi</i>	<i>Shigella dysenteriae</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Vibrio non cholerae</i>
Puits aménagés (n=1)	0	1	0	0	0	0
Puits non aménagés (n=59)	41	55	59	46	4	0
Regideso (n=1)	0	0	1	0	0	0
Bishimpo (n=145)	145	89	145	114	63	3

Des analyses plus approfondies visant à identifier les germes en cause de la contamination des eaux domestiques à Lubumbashi ont montré que: (i) aucun prélèvement n'a été contaminé par le *Vibrio cholerae*; (ii) un seul prélèvement d'eau des puits aménagés et celui de la Regideso a été contaminé, respectivement par *Escherichia coli* et *Salmonella typhi*; (iii) plusieurs prélèvements d'eaux des puits non aménagés et des Bishimpo ont connu des contaminations multiples par *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Shigella dysenteriae* et *Klebsiella pneumoniae*; (iv) trois prélèvements d'eaux de Bishimpo ont été contaminés, en plus des germes précités, par le *Vibrio non cholerae*.

Corrélation entre les sources d'eaux domestiques et la contamination bactérienne.

Cette étude a trouvé une association modérée, positive entre le niveau de contamination bactérienne et les sources d'eaux domestiques, coefficient de corrélation de Pearson ($r = 0.46$) et ce de manière significative ($P=0,04$).

DISCUSSION

Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux domestiques

Quatre paramètres physico-chimiques analysés étaient : le potentiel Hydrogène (pH), la température (T°), le taux des solides dissous (TDS), et la conductivité électrique (CE) des eaux domestiques.

Les résultats de notre étude ont montré que les paramètres physico-chimiques des eaux de sources domestiques utilisées à Lubumbashi étaient dans les limites des valeurs de référence de l'OMS (tableau III).

Potentiel hydrogène (pH)

Le pH influence la quasi-totalité des mécanismes chimiques et biologiques d'un milieu. Il dépend de l'origine de l'eau et de la nature du sol traversée par cette eau [22,23].

En plus, le pH nous renseigne sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu. La valeur acceptable pour l'eau de boisson est de l'ordre de 6,5 et 8,5 [18,22]. Cette étude a trouvé un pH médian de 8, alcalin, et une gamme de pH à l'intérieur de laquelle une croissance bactérienne optimale serait obtenue (Tableau III). Ce résultat concorde avec ceux de Gouaidia L., 2008, où le pH des eaux de forage est à tendance basique. Comme à Lubumbashi (Tableau III) et que celui des eaux de puits sont proches de la neutralité. Et ce en fonction et du sol qui l'encaisse et la protège [24].

Lubumbashi est une région minière par excellence et constituée des plus grandes usines, gisements et entreprises minières de la RDC, comme la Générale des Carrières des Mines (GECAMINES) et d'autres carrières minières, le cas de Rwashi Mining, Kamo Mining, qui exploitent et transforment les substances minières comme les plombs, le Cadmium, l'uranium, Manganèses, etc. Ces substances, peuvent affecter les nappes d'eaux phréatiques et parfois aquifères [24].

Par ailleurs, nos résultats ne corroborent pas à ceux trouvés, acide et neutre par certaines études, à l'instar de celles menées à Luwuwoshi, un quartier de la ville de Lubumbashi [23] et à Yaoundé, au Cameroun [20]. Cette étude, était multicentrique et a ciblé 400 échantillons d'eaux domestiques des diverses sources et donc plus exhaustive que celle de Luwuwoshi et de Yaoundé.

La température (T°)

La T° est un paramètre physique qui régit la quasi-totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques d'un milieu et dont les grandes variations entraînent un déséquilibre de l'écosystème hydrique [25, 26, 28].

La température médiane de notre échantillon est de 25 (23-29°Celsius) (Tableau III). Elle correspond à la température ambiante, propice au développement des pathogènes aquatiques [20,26, 29]. Cette condition serait responsable

de la survie, la prolifération et la distribution des souches pathogènes trouvées par cette étude (Tableau V).

Ces températures sont proches de 22,6 et 24,8°C caractéristiques des eaux des régions tropicales qui sont propices à la croissance bactérienne, entre 4 et 40°C [20]. Pour d'autres chercheurs, la vulnérabilité des sources d'eaux domestiques est liée à l'ouverture du système aquifère, d'où l'exposition des sources d'eaux à la pollution microbienne [29].

La Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire le courant électrique [4, 29]. Elle dépend de la teneur de l'eau en sels minéraux et renseigne sur la minéralisation. Elle constitue un bon marqueur de l'origine d'une eau et de ses caractéristiques [3, 29].

Cette étude a estimé la médiane (min-max) de la CE à 1116,5 (944.0-1,198.0)µs/cm. Des variations légères ont été obtenues selon les types d'eaux domestiques et des Zones de Santé (tableau III).

Notre échantillon présente des valeurs acceptables de CE qui est de 239 S/cm. Cela s'expliquerait par la qualité du sol fortement minéralisé dominée par les industries d'exploitation et de transformation des minerais dont certains sont radio-isotopes.

Pour certains auteurs [24,27,31] qui ont travaillé dans le contexte similaire, la CE est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la température, la présence d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique.

Selon les habitudes locales, nos résultats peuvent aussi être expliqués, notamment par la pollution d'origine anthropique, à l'industrialisation et à la commercialisation des minerais parfois à ciel ouvert.

La mauvaise gestion environnementale des substances chimiques pourrait être à la base de l'infiltration des matières minérales vers les nappes d'eaux phréatiques et parfois les nappes aquifères [29, 31].

Taux des solides dissous ou Total Dissolved Solids (TDS)

Le Taux de Solides Dissous (TDS) représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau [27]. Il est composé de sels inorganiques (calcium, magnésium, potassium, carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates), de quelques matières organiques

provenant des activités humaines et d'un certain nombre de sources naturelles [27].

Cette recherche a trouvé une médiane (min-max) de 500,4 (294.0- 587.0). Ces valeurs sont restées légèrement élevées par rapport à celles préconisées en la matière [23, 27] pour les eaux de surfaces et les eaux souterraines.

A Lubumbashi, le taux légèrement élevé des TDS est vraisemblablement lié à l'apport en matières solides et colloïdales. Mais aussi, aux taux des substances dissoutes ainsi qu'aux matières biodégradables dans son abondance de réseau hydrographique (Figure 1), où tout est permis de jeter, y compris les plastiques.

Par ailleurs, les solides dissous ou en suspension peuvent servir de support aux organismes aquatiques et pourraient faciliter la formation des biofilms, lesquels protègent les bactéries des effets néfastes de l'environnement, comme des extrêmes températures, [19,32] conditions similaires et trouvées dans notre milieu d'étude.

Il est reconnu que la source très riche en matières organiques deviendrait aussi riche en micro-organismes, progressivement, elle deviendra pauvre en nutriments et riche en produits de dégradation et impropre à la croissance microbienne [19,32]. C'est le phénomène de la cinétique de croissance des bactéries [3,19,32]. Ce phénomène expliquerait l'absence de certaines bactéries, comme le *Vibrio cholerae* lors de la culture bactérienne.

Analyses bactériologiques des eaux des sources domestiques à Lubumbashi.

Cette étude a été menée à Lubumbashi de mars à octobre 2023, durant une flambée épidémique de choléra (figure 2) et n'a pas couvert toute l'année civile.

En dehors de *Vibrio cholerae*, cette étude a identifié les bactéries responsables de contamination d'eaux domestiques à Lubumbashi (tableau V).

Les analyses bactériologiques (tableau IV) ont trouvé un taux de contamination de près de 52%. Les eaux des puits non aménagés et artisanaux (Bishimpo) étaient plus contaminées, à plus de 98%, P=0.04.

Des analyses réalisées dans les milieux sélectifs ont permis de rechercher les germes de contamination des eaux domestiques. Ces résultats se résument ainsi: (i) aucun *Vibrio cholerae* identifié; (ii) un seul *Escherichia coli* était isolé dans un puit aménagé et un *Salmonella typhi* a contaminé l'échantillon de

la Regideso;(iii) *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Shigella dysenteriae* et le *Klebsiella pneumoniae* ont contaminé massivement les eaux des puits non aménagés et celles des puits traditionnels (Bishimpo); (iv) le *Vibrio non cholerae* a été isolé dans trois échantillons de Bishimpo. Cette contamination des sources d'eau, constitue un risque important pour la population de Lubumbashi.

En effet, les besoins croissants en eau domestique au sein des ménages, liés à la démographie galopante et à l'industrialisation contrastent avec la disponibilité et l'accessibilité à des sources d'eau potable dans les agglomérations et les grandes villes des pays en voie développement [7,33]. A Lubumbashi, la couverture de la desserte en eau potable est estimée à 38 % et celle de toilette hygiénique est 27% [8,11,19].

Cette étude a trouvé une très faible contamination des eaux des puits aménagés et de l'eau de la Regideso (tableau IV). Les efforts doivent être fournis pour arriver à 0% de contamination des sources d'eau, cet objectif constitue un idéal à promouvoir. En plus, il est important d'empêcher à la population l'utilisation des eaux contaminées avant toute décontamination. La sensibilisation de la population doit aussi être assurée quant à ce. Cette stratégie contribuera à réduire les risques de contamination des sources d'eaux et des maladies diarrhéiques à Lubumbashi.

A Lubumbashi, les raisons possibles de ces contaminations des sources peuvent être : la promiscuité des eaux domestiques avec les latrines, les égouts, les décharges publiques, les déjections des animaux, mauvaise gestion des cours d'eaux, les inondations des rivières et la stagnation des eaux usées issues des toilettes et activités humaines. Celles-ci se déversent dans les puits non protégés et les Bishimpo et constituent un risque potentiel de contamination. Ces résultats sont proches de ceux obtenus à Yaoundé et au Beyrouth, où les germes coliformes fécaux et totaux ont été trouvés [20, 34, 36]. Nos résultats sont proches de ceux obtenus ailleurs et à Lubumbashi, où les coliformes fécaux (*Escherichia coli*) et/ou entérocoques étaient rapportés [22,26,31].

Enfin, la contamination manuportée des eaux domestiques lors du stockage ne doit être sous-estimée. En effet, certaines études ont suffisamment documenté les différentes causes de contaminations des puits, cas des travaux

menés par certains auteurs [26,37,38]. L'absence du *Vibrio cholerae* dans les eaux domestiques serait une preuve que l'épidémie qui sévissait en ce moment à Lubumbashi était probablement importée d'un autre pays ou d'une autre région de la RDC, mais aussi possiblement d'une autre source de contamination. Et que les eaux domestiques n'en constituaient pas un facteur de propagation. Aussi, l'absence d'isolement de la souche du *Vibrio cholerae* au laboratoire, après ensemencement dans les milieux spécifiques : TCBS et Alcaline Agar sont en conformité avec les résultats de certains chercheurs qui ont trouvé que le *Vibrio cholerae* survie dans ces conditions des pH alcalin, température ambiante, conductivité électrique moyenne et TDS favorables [13,20]. Mais, le *Vibrio cholerae* peut être cultivé et proliféré dans cet environnement aquatique et n'est pas isolé au laboratoire à la suite de l'altération de sa composition biochimique [13, 20]. Mais aussi de forte contamination des sources, comme cela a été trouvé dans d'autres pays d'Afrique, notamment au Togo et au Sénégal [39,40].

Corrélation entre les sources d'eaux domestiques et la contamination bactérienne.

Cette étude a trouvé une association modérée, positive ou directe, entre le niveau de contamination bactérienne et les sources d'eaux domestiques, coefficient de corrélation de Pearson ($r = 0.46$), et ce de manière significative ($P=0,04$). Ainsi, le niveau de contamination bactérienne est associé positivement ou directement aux sources d'eaux domestiques de Lubumbashi.

Parmi les sources d'eaux domestiques, les puits non aménagés et artisanaux sont plus contaminés par les bactéries. Par ailleurs les eaux de la Regideso et des puits aménagés sont moins contaminées par les bactéries pathogènes à Lubumbashi, 1,64% ($n=61$) et 0,75% ($n=133$) respectivement (tableau IV).

Ces résultats ont contribué à clarifier l'importance à accorder aux eaux de Regideso et des puits aménagés dans la prévention et le contrôle des maladies d'origine hydrique. Ce qui contribuera à réduire la charge de la morbidité imputable aux maladies hydriques.

Le résultat de cette recherche suggère encore un changement radical du paradigme, selon lequel seuls 5 premiers échantillons sont confirmés et les autres patients sont traités comme cas de

choléra, par analogie clinique basée sur la définition de cas, renforçant le manque d'évidence scientifique en la matière. Cette directive du Ministère de la santé, hygiène et prévention est a revisité à la lumière des évidences de cette recherche doctorale.

Limites de l'étude

Cette étude a été menée durant la saison sèche (mars à octobre 2023) et n'a pas pris en compte les facteurs liés à la contamination des sources d'eaux domestiques, par le ruissellement des eaux pendant la saison de pluie. La contamination alimentaire (nourriture) n'a pas été évaluée. L'étude n'a pas aussi déterminé la contamination des eaux domestiques par d'autres microbes, notamment les parasites comme les protozoaires, les champignons, etc.

CONCLUSION

Cette étude a montré que les paramètres physico-chimiques des eaux domestiques à Lubumbashi étaient dans les limites des normes de l'OMS. Par contre, le taux de contamination bactérienne des sources d'eaux analysées était de 52% essentiellement pour les eaux de puits non aménagés et de Bishimpo. Cette contamination était due à d'autres bactéries que le *Vibrio cholerae*. Ceci suggère que l'épidémie de choléra de 2023 à Lubumbashi avait une autre origine que la consommation des eaux domestiques. Cette étude recommande la promotion de l'utilisation des eaux des puits aménagés et de la Régideso qui sont très moins contaminées par les bactéries pathogènes.

Pour les populations non desservies à partir de ces deux sources, nous recommandons la décontamination périodique des eaux des sources domestiques.

Dans tous les cas, la systématisation des analyses bactériologiques et l'application de la surveillance environnementale des sources d'eau sont requises.

Enfin, les pistes d'études ultérieures pourraient concerner les investigations concomitantes des sources d'eaux domestiques et des aliments, ainsi que les analyses des souches cliniques des bactéries identifiées chez les patients et celles isolées dans l'environnement hydriques. Ces études pourraient apporter d'autres évidences à l'adaptation des stratégies de contrôle du choléra à Lubumbashi.

Remerciements :

Nous remercions les équipes de Labotest qui ont collecté et analysé avec professionnalisme

les échantillons d'eaux des sources domestiques.

Conflits d'intérêts : Les auteurs n'ont pas de conflits d'intérêts à rapporter.

REFERENCES

- [1]. Ali M, Nelson AR, Lopez AL, Sack DA. Updated global burden of cholera in endemic countries. PLoS Negl Trop Dis. 2015; 9(6):1-13.
- [2]. Nelson EJ, Harris JB, Morris JG Jr, Calderwood SB, Camilli A. Cholera transmission: the host, pathogen and bacteriophage dynamic. Nat Rev Microbiol. 2009; 7(10): 693-702.
- [3]. Rahman MH, Biswas K, Hossain MA, Sack RB, Mekalanos JJ, Faruque SM. Distribution of genes for virulence and ecological fitness among diverse *Vibrio cholerae* population in a cholera endemic area: tracking the evolution of pathogenic strains. DNA Cell Biol. Juill 2008;27(7):347-55.
- [4]. Cottingham KL, Chiavelli DA, Taylor RK. Environmental Microbe and Human Pathogen: The Ecology and Microbiology of *Vibrio cholerae*. Frontiers in Ecology and the Environment. 2003;1(2):80-86.
- [5]. World Health Organization Global Task Force on Cholera Control. Flambées de choléra : évaluation des mesures mises en œuvre en cas de flambée et amélioration de la préparation Organisation mondiale de la Santé. 2ème, 2004, 87p.
- [6]. Institut Pasteur – Site Internet [En ligne]; Paris (FRA): Journal de recherche ; 2019 [modifié le 6 juin 2019 ; cité le 18 décembre 2023]. Disponible : <https://www.pasteur.fr/fr/journal-recherche/dossiers/Cholera-fléau-encore-origine-epidemies-majeures>, 2019.
- [7]. Organisation mondiale de la Santé. Bulletin d'information sur les flambées épidémiques ; Choléra situation-mondiale. Genève : OMS ; 16 décembre 2022. Rapport No.: 01.
- [8]. Gouvernement de la République Démocratique du Congo [En ligne]. Kinshasa: Plan Multisectoriel d'Élimination de Choléra; 2017-2022. [modifié le 23 octobre 2023; cité le 16 juillet 2023]. Disponible : <https://eskinshasa.net/plan-stratégique-élimination-choléra>.
- [9]. Ingelbeen B, Hendricks B, Miwanda B, vander SM, Mossoko B, Vochten H, et al. Recurrent Cholera Outbreaks, Democratic

Republic of the Congo, 2008–2017. Emerging Infectious Diseases. 2019; 25 (5): 856–864.

[10]. Centre national des maladies infectieuses [Internet]. Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention (États-Unis); [révisé le 14 avril 2019; cité le 17 octobre 2023]. Disponible sur : <https://www.cdc.gov/cholera/hcp/infection-control/index.html>.

[11]. Okitandjate AD, Okenge L, Lunguya O, Mwembo A, Aruna A, Chenge F, et al. Déterminants de la morbidité et de la mortalité dues au choléra à Lubumbashi, République Démocratique du Congo : étude cas-témoins non appariée. ESJ. 2022; 18 (21): 65-92.

[12]. Vega OD, Juin S, Berendes D, Heitzinger K, Prentice-Mott G, Désormeaux AM, et al. Cholera Outbreak Haiti. Morb Mortal Wkly Rep. 2023;72 (2): 21-25.

[13]. Bompangue D, Giraudoux P, Hand Schumacher P, Piarroux M, Sudre, B. Lakes as source of cholera outbreaks, DRC. Emerg Infect Dis. 2008;14: 798-80.

[14]. Lutz C, Erken M, Noorian P, Sun S, McDougald D. Environmental reservoirs and mechanisms of persistence of *Vibrio cholerae*. Front Microbiol. 2013; 4 (375):1-15.

[15]. Mouriño-Pérez RR, Worden AZ, Azam F. Growth of *Vibrio cholerae* O1 in red tide waters off California. Appl Environ Microbiol. 2003 Nov; 69 (11): 6923-31.

[16]. Chomvarin C, Namwat W, Wongwajana S, Alam M, Thaew-Nonngiew K, Sinchaturus A, et al. Application of duplex- PCR in rapid and reliable detection of toxigenic *Vibrio cholerae* in water samples in Thailand. J. Gen. Appl. Microbiol. 2007;53(4): 229-237.

[17]. Eibach D, Herrera LS, Gil H, Hogan B, Ehlkes L, Adjabeng M, et al. Molecular Epidemiology and Antibiotic Susceptibility of *Vibrio cholerae* Associated with a Large Cholera Outbreak in Ghana in 2014. PLoS Negl Trop Dis. 2016 May 27;10 (5) : 1-14.

[18]. UNICEF-OMS. 25 years Progress on Sanitation and Drinking Water. Update and MDG Assessment, Joint Monitoring Programme. 2015, 90 p.

[19]. Djaouda M, Gake B, Zebaze T, Wadoube Z, Nola M, Njiné T. Évaluation de la contamination par *Salmonella* sp. et *Vibrio cholerae* des eaux de puits de Garoua, Nord Cameroun. Afrique Science. 2018;14(4): 209-24.

[20]. Tamatcho BT, Fotsing-kwetche PR, Njine T, Nola M, Djogo P. Quelques facteurs déterminant la distribution des bactéries du

genre *Vibrio* dans l'environnement aquatique de Yaoundé, Cameroun. Cameroon Journal of Experimental Biology. 2009; 5(2): 96-103.

[21]. Chenge M, Van der Vennet J, Porignon D, Luboya N, Kabila I, Criel, B. The health map of Lubumbashi, Democratic Republic of Congo. Part II: analysis of operational activities of health care facilities. Glob Health Promot. 2010 sept ; 17 (3):75-83.

[22]. Saadali B. Étude de la qualité des eaux de sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie extrême Nord oriental), Mémoire de magister en géologie, Géosciences, faculté des Sciences de la Terre, Département de Géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 110 p.

[23]. Balloy MP, Katond JP, Hanocq P. Evaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwuwoshi (RD Congo). Tropicultura. 2019; 37 (2):627-642.

[24]. Souley MR, Malam M, Mahaman SL, Natatou I. Caractérisation Physico-Chimique des eaux souterraines du socle de la région de Zinder (Niger) pendant la saison des pluies et la saison sèche. European Scientific Journal. 2018;14 (27): 317-345.

[25]. Guévert J, Noeske J, Essomba S, Edjenguele M, Bitá A, Mouangue B, et al. Déterminants du choléra à Douala. Med Trop. 2006; 66 (3): 283-291.

[26]. Hassane BA. Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique: Cas de la communauté urbaine de Niamey (NIGER) [Mémoire]. Niamey: Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey. 2010 ; 249 p.

[27]. Sadia I. Synthèse bibliographique des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux naturelles [Mémoire de Master]. Tizi Ouzou : Université Mouloud Mammeri. 2020; 48 p.

[28]. Colwell R, Huq A. Marine ecosystems and cholera. Hydrobiologia. 2001;460(1): 141–145.

[29]. Haissoufi H, Berrada S, Merzouki M, Aabouch M, Bennani B, Benlemlih M, et al. Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fes, Maroc. Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. 2011; 5(1): 37-68.

[30]. OMS. Directives de qualité pour l'eau de boisson intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum]. Genève. 4e éd. . 2017, 127p. (Guide pratique).

[31]. Mulungulungu D. Caractéristiques des eaux de consommation et tendances sanitaires dans l'hinterland de Lubumbashi [Mémoire].

Lubumbashi: Université de Lubumbashi; 2007. 213p.

[32]. Leclerc H. Relationships between common water bacteria and pathogens in drinking water. *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety*. London: IWA Publishing. 2003;80-118.

[33]. Batumbo BD. Analyse écologique des points chauds de choléra en Afrique. *Écologie, Environnement*. Université Bourgogne Franche-Comté. 21 Juillet 2021. 117 p.

[34]. Abu-Jawdeh G, Laria, Bourahla.A. Liban: enjeux et politiques d'environnement et de développement durable. Beyrouth. Éditions du Programme des Nations-Unies/ l'Environnement/Plan Bleu/ Centre d'Activités Régionales. 2000. 54 p.

[35]. Hamid BS, Nassif N, El Samrani AG, Daoud R, Medawar S, Ouaini N. Survey of bacteriological surface water quality (Nahr Ibrahim River, Lebanon). *Journal of Water Science*. 2007; 20 (4):341–352.

[36]. Malangu M P. Maladies hydriques d'origine bactérienne et Sous-développement dans le Shaba [Mémoire]. Lubumbashi : Université de Lubumbashi ; 1984.

[37]. Coumare K, Diallo T, Siby L, Haidara A, Traoré M, Coulibaly M, et al. La qualité bactériologique des eaux de consommation (forages et puits) dans trois cercles de la région de Koulikoro, Mali. *Rev Mali Infect Microbiol*. 2018;(11): 25-32.

[38]. Degbey C, Makoutode M, Ouendo EM, De Brouwer C. Pollution physico-chimique et microbiologique de l'eau des puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin en 2009. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 2010; 4(6): 17-28.

[39]. Soncy K, Djeri B, Anani K, Eklou-Lawson M, Adjrah Y, Karou DS, et al. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo. *Journal of Applied Biosciences*. 2015; 9(1): 8464-8469.

[40]. Maoudo H, Diagne I, Ndiaye M , Ndiaye B, Dione CT, Cisse D , et al. Étude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Maléme dans la région de Tambacounda (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 2020; 14 (9): 3400-3412.