



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Impact Négatif des Stations-Service Sur la Nappe Phréatique Adjacente. Cas des Stations-Service Groupe Petropetroleum et Bon Berger au Quartier Kalubwe à Lubumbashi (RD Congo)

Sangwa Kiteba Guellord

Laboratoire de Population Environnement et Planification Urbaine au
Département de Géographie et Sciences de l'Environnement,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

Bula Katendi

Département de Mathématiques et Informatiques
Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

Amisi Mwanayamba

Département de Géographie et sciences de l'environnement,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

Mbayo Kitambala Marsi

Laboratoire de Chimie organique, Substances naturelles des plantes,
champignons et des insectes, Biocarburants huiles essentielles au
Département de Chimie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi,
RD Congo

Asumani Salimini

Laboratoire de Population Environnement et Planification Urbaine au
Département de Géographie et Sciences de l'Environnement,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n27p64](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n27p64)

Submitted: 30 January 2023
Accepted: 16 September 2023
Published: 30 September 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Guellord S.K., Katendi B., Mwanayamba A., Marsi M.K. & Salimini A. (2023). *Impact Négatif des Stations-Service Sur la Nappe Phréatique Adjacente. Cas des Stations-Service Groupe Petropetroleum et Bon Berger au Quartier Kalubwe à Lubumbashi (RD Congo)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (27), 64. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n27p64>

Résumé

Cet article met en évidence les paramètres physico-chimiques et organoleptiques de la qualité des eaux des nappes phréatiques des périmètres

des stations-service Bon Berger et Groupe petropetroleum (GPP) du quartier Kalubwe dans la partie australe de la République Démocratique du Congo. Cette étude examine les incidences négatives des stations-service dans les nappes souterraines adjacentes. Le protocole méthodologique combine revue de la littérature, enquêtes auprès de ménages qui s'approvisionnent en eau dans les parages de stations-service, analyse physico-chimiques des échantillons, traitements statistique et géomatique des données. L'observation directe a précédé le travail de repérage des stations-service, des puits et des forages. À l'aide d'un Système de Positionnement Global (GPS) et du logiciel Quantum Geographic Information System (QGIS), les données ont été cartographiées. Un questionnaire contenant des informations sur la perception de contamination des eaux par les enquêtés a visé les chefs de ménages ou son conjoint. En tout, 117 ménages ont été touchés par l'enquête. Ce nombre a été réalisé partant des parcelles qui s'approvisionnent en eau des puits et forages. Les résultats des analyses indiquent que tous les puits et forages dans ces secteurs ont des valeurs inférieures en métaux lourds pour la majorité, mais un excès en Plomb dépassant la norme OMS (0,01mg/L). Il en ressort également sur base des paramètres analysés que les puits et forages de la stations-service GPP ont été contaminés par les hydrocarbures et cette station constitue l'épicentre de la pollution pour les puits en aval de celle-ci. Quant aux autres puits, ils sont contaminés par autres subsistances. L'analyse des eaux de forages répondent aux normes de l'OMS à l'exception de l'eau de la station GPP et de puits de l'avenue Kabwit. Cette étude a montré que les stations-service peuvent avoir un impact négatif sur la nappe phréatique et pollué les eaux. Toutefois, la pollution est due à d'autres substances qui n'ont aucun rapport avec les stations-service.

Mots-clés : Nappe phréatique adjacente, Analyse physicochimique, secteurs de la station-service GPP et Bon Berger, Quartier Kalubwe

Negative Impact of Service Stations on the Adjacent Groundwater. Case of the Petropetroleum and Bon Berger Service Stations in the Kalubwe District (DR of Congo)

Sangwa Kiteba Guellord

Laboratoire de Population Environnement et Planification Urbaine au
Département de Géographie et Sciences de l'Environnement,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

Bula Katendi

Département de Mathématiques et Informatiques
Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

Amisi Mwanayamba

Département de Géographie et sciences de l'environnement,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

Mbayo Kitambala Marsi

Laboratoire de Chimie organique, Substances naturelles des plantes,
champignons et des insectes, Biocarburants huiles essentielles au
Département de Chimie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi,
RD Congo

Asumani Salimini

Laboratoire de Population Environnement et Planification Urbaine au
Département de Géographie et Sciences de l'Environnement,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

Abstract

In the Kalubwe district of the southern Democratic Republic of the Congo, this study examines the physico-chemical and organoleptic characteristics of groundwater quality, with a focus on the service stations owned by Bon Berger and Groupe Petropetroleum (GPP). The study investigates the adverse impacts of these service stations on nearby groundwater. Our methodological approach comprises a literature review, household surveys in areas dependent on nearby gas stations for water, physico-chemical analysis of sample data, statistical analysis, and geomatic data processing. The initial step involved the identification of service stations, wells, and boreholes through direct observation. Subsequently, data were geographically mapped using a Global Positioning System (GPS) and Quantum Geographic Information System (QGIS) software. Households, represented by heads of families or their spouses, were surveyed through a questionnaire to gauge their concerns regarding water contamination. In total, 117 households were included in the survey, selected based on their water

sources from various wells or boreholes. The analysis revealed that the majority of wells and boreholes in these areas exhibited lower heavy metal levels compared to the WHO standard (0.01mg/L). However, some of these water sources contained elevated levels of lead. Furthermore, based on the criteria examined, it was observed that wells and boreholes associated with the GPP service station showed signs of hydrocarbon contamination, indicating this station as a focal point of pollution affecting downstream wells. Other contaminants were also identified in various wells. With the exception of water from the GPP station and wells on Avenue Kabwit, borehole water analysis generally complied with WHO standards. This study demonstrates that service stations can contribute to water contamination and have a detrimental impact on groundwater quality. Nonetheless, it is important to note that other compounds unrelated to the stations also contributed to pollution in certain cases.

Keywords: Adjacent groundwater, physicochemical analysis, GPP and Bon Berger service station areas, Kalubwe district

Introduction

La mondialisation, l'expansion des villes, l'explosion démographique, ont beaucoup influencés les activités du secteur tertiaire. C'est ainsi que les infrastructures spécialisées dans la vente de carburants se multiplient sur certains axes à forte circulation de Lubumbashi en général et du quartier Kalubwe en particulier (*Mujinga, 1997 Mwanji ; 2014 ; Sangwa, 2021*). Les installations de ces infrastructures « Stations-service » alimentent les véhicules en carburant (*Sangwa, et al., 2021*). Etant donné que ces points d'approvisionnements en carburant s'installent le long des grandes artères ; dans les parcelles habitées et à des emplacements d'intenses activités (*Sangwa, et al., 2021*). Leur implantation demande l'observance stricte de normes de sécurité. Cependant, certaines stations induisent des impacts négatifs dans les nappes phréatiques sous-jacentes. Les stations-service GPP et Bon Berger sont parmi des stations-service mal installées. De ce fait, il est impératif de penser à l'impact que celles-ci pourraient avoir sur l'environnement et surtout au niveau du sous-sol où l'on place les réservoirs de carburants. Néanmoins, les installations de ces stations requièrent certaines conditions de sécurité pour lutter contre les risques y afférents des fuites de carburants à partir des réservoirs enfouis, qui menacent la qualité des nappes phréatiques utilisées par certaines populations résidentes du quartier Kalubwe qui sont dépendantes de ces eaux par manque d'approvisionnement de service spécialisé de la fourniture en eau (*Sompo, 2019*). *Blaesius (1992)* révèle que les risques auxquels les habitants sont exposés étant de plusieurs ordres ; contribuer à cette série de connaissances en décortiquant la pollution des eaux

souterraines due aux stations-service est indispensable. Les réservoirs de carburants enfouis dans le sous-sol, à l'instar de ceux de la station GPP et Bon Berger dans le quartier Kalubwe, sont susceptibles de polluer des eaux de la nappe souterraine. Ceci, constitue un danger pour la santé de la population qui consomme l'eau de puits et de forages (*Sompo, 2019*).

Ainsi cette étude a pour objectif, analyser les effets négatifs induits par les stations-service sur les nappes phréatiques. Ce travail a consisté à identifier des ménages qui s'approvisionnent en eau dans les rayons des stations-service Bon Berger et GPP pour mesurer les risques qui guettent ces habitants quant à la qualité de l'eau qu'ils consomment ; à évaluer la potabilité de l'eau en analysant les aspects cognitifs de la qualité de l'eau étayée par les ménages d'une part et les analyses physico-chimiques des eaux de puits artisanaux et des forages d'autre part ; à déterminer les sources de pollution

Méthodologie

Le choix de la zone d'étude est guidé par la proximité de celle-ci aux stations-service, par le fait que le problème d'approvisionnement en eau potable se pose avec acuité dans ces secteurs d'études et les plaintes de la population sur l'odeur des hydrocarbures constatée dans certains puits. Cette zone est desservie par les réseaux d'adduction d'eau potable de la Régideso, mais l'eau ne coule pas régulièrement aux robinets. Les populations ont souvent recours à l'eau qui se trouve à leur portée sans tenir compte du danger sanitaire.

Le Quartier Kalubwe est l'un de 15 quartiers de la Commune de Lubumbashi. Il tire son appellation de la rivière Kalubwe qui verse ses eaux dans le Lac Tshombe via la Lubumbashi. Situé dans le secteur Nord-Ouest de la ville de Lubumbashi. Le plus petit Quartier de la Commune de Lubumbashi avec une superficie d'environ 3,50 km². Il est borné au Nord par la rivière Kamisepe, au Sud par l'avenue de la Révolution, au Sud-Ouest par l'avenue Kamanyola, à l'Ouest par la rivière Kalubwe à l'Est par l'avenue du 30 juin et son prolongement (Figure 1).

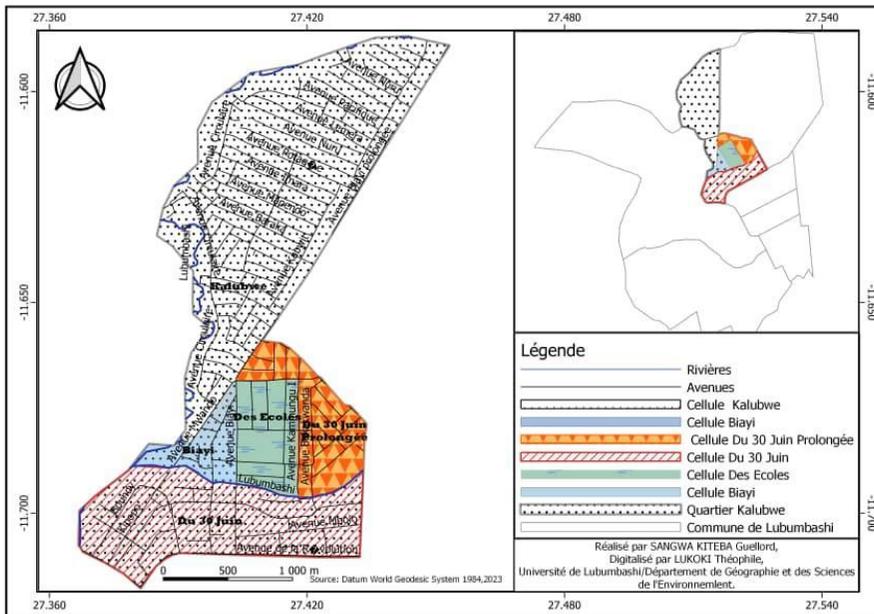


Figure 1. Zone d'étude

Sur le plan pédologique, le type de sol et son épaisseur ont un impact considérable sur le taux d'infiltration et d'humidité, la capacité de rétention des eaux et sur le coefficient de ruissellement. Les différents types des profils pédologiques caractéristiques de Lubumbashi se distinguent de la roche mère mis à part les 4 horizons des sols de bas en haut et se présente de la manière suivante : horizon holorganique (litière) non tourbeux(O) ; horizon hemiororganique (A) ; horizon éluvial appauvri en ions, argile, humus et sesquioxydes (E) ; horizon illuvial enrichi en ions, argile, humus et sesquioxydes (B) ; roche mère plus ou moins meuble permettant encore un enracinement (C) ; roche mère compacte plus ou moins fissurés ne permettant pas un développement racinaire (R). Quant à l'aspect géologique, le quartier Kalubwe est sur le groupe de Kundelungu, il est essentiellement terrigène. A l'instar de Nguba qui débute par une formation de conglomérat (Francois, 1974).

Le secteur d'enquête GPP se trouve dans le périmètre des avenues Biayi, de la Libération, Kabwit, et Dilolo (Figure 2).

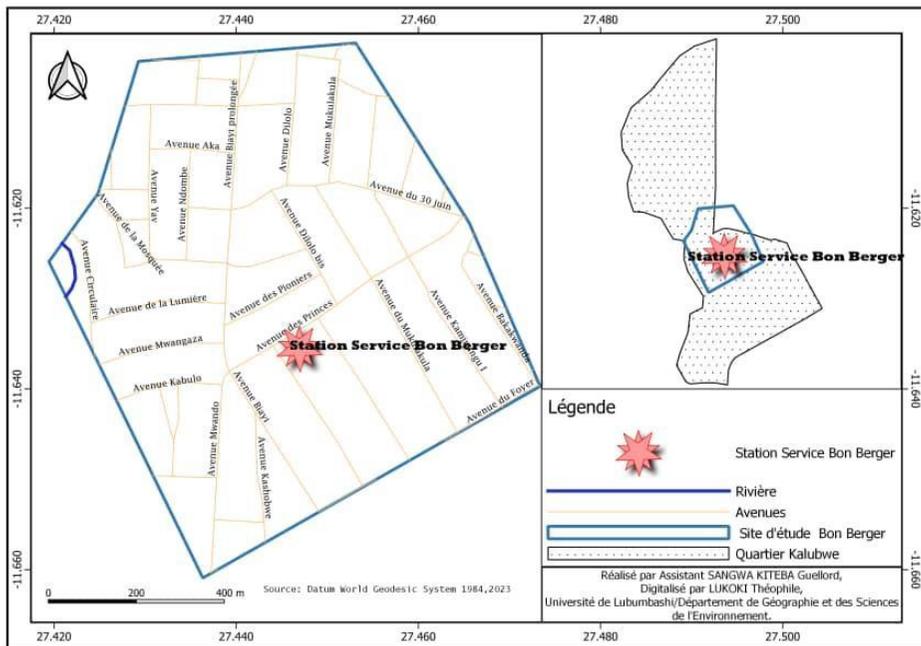


Figure 2. Secteur Bon Berger

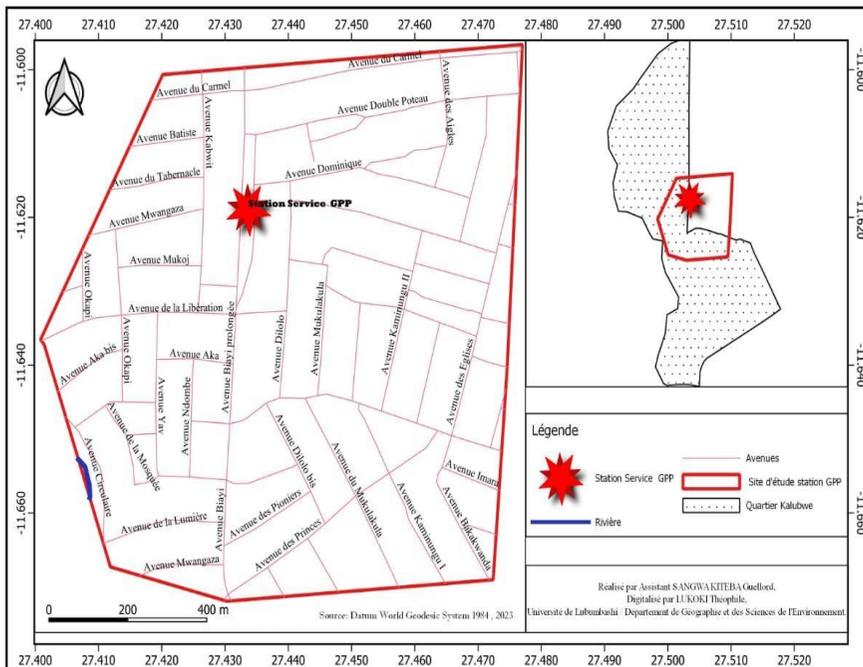


Figure 3. Secteur d'étude GPP

Le secteur Bon Berger est dans le périmètre des avenues ; Biayi, du Foyer, Dilolo, Kashobwe, et de Prince pour le second. (Figure 3).

Cette recherche analysera les spécificités des ménages s'approvisionnant en eau dans le voisinage de deux stations-service Bon Berger et GPP pour mesurer les risques que courent la population qui utilise cette eau. Aussi, elle évoquera les aspects physicochimiques des puits artisanaux et des forages. Le protocole méthodologique recoupe des enquêtes des ménages des alentours des deux stations-service Bon Berger et Groupe petropetroleum situés au quartier Kalubwe dans la ville de Lubumbashi au Sud Est de la République Démocratique du Congo. Les analyses physicochimiques des eaux des puits et des forages, les levés GPS (système de positionnement global) des stations-service et des points d'approvisionnement en eau.

Cette recherche s'est basée sur la revue documentaire de la qualité des eaux selon les normes de l'OMS et des documents divers ayant décortiqués la pollution de l'eau par les hydrocarbures. Cette recherche ayant pris essence des odeurs des hydrocarbures constatées dans les eaux des puits après la mise en fonctionnement de la station-service GPP. D'après *l'OMS (2017)*, dans la plupart des situations, le goût et l'odeur permettront de détecter la présence de produits pétroliers à des concentrations inférieures à celles qui sont préoccupantes pour la santé, notamment en cas d'exposition à court terme. Ainsi, deux approches ont été employées pour la collecte de données : l'enquête auprès des ménages des environs des stations-service pour appréhender la perception des habitants sur les paramètres organoleptiques des eaux des puits et des forages qui sont la couleur (incolore, jaunâtre), l'odeur (mauvaise odeur, inodore), le goût ou saveur (excellent, Bon goût, mauvais goût). Mais, ces analyses sont subjectives et dépendent de l'appréhension des enquêtés. *Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (2017)*, la fourniture d'une eau de boisson non seulement salubre, mais également acceptable quant à son aspect, son goût et son odeur, est une des premières priorités. L'eau dont l'aspect est inacceptable suscitera la méfiance des consommateurs et générera des plaintes. L'enquête dans les ménages a permis de recueillir des informations relatives à la perception des habitants sur les paramètres organoleptiques de l'eau de leur biotope. Le questionnaire d'enquête fut structuré comme suit : l'identification des ménages qui s'approvisionnent en eau dans les parages des stations-service pour les différentes activités des ménages en occurrence pour la boisson, la cuisson, les travaux des jardinages, les lessivages des véhicules et des ustensiles des cuisines, etc. L'unité de sondage était la parcelle ; le questionnaire a visé les responsables des ménages. Au total, 117 ménages qui s'approvisionnent en eau dans les puits traditionnels et les forages se trouvant aux environs de deux stations-service ont été identifiés. L'approvisionnement en eau été déterminant pour la sélection des ménages. Puis s'ensuivra, les analyses physico-chimiques des eaux.

Un prélèvement de 25 échantillons a été effectué dans huit forages qui se localisent dans les périmètres des stations-service et dix-sept puits traditionnels. Le prélèvement était fait à l'aide d'un récipient attaché à une corde et l'eau était mise dans des bouteilles nettoyées d'un litre bien à l'eau stérilisée (*Belghiti et al., 2013*). C'est au mois d'avril 2018 que le prélèvement a eu lieu ; période à laquelle certains ménages avaient constaté des odeurs des hydrocarbures dans leurs puits. Les échantillons ont été analysés au laboratoire chimique de la Société Chemical of Africa (chemaf). Le protocole des analyses physicochimiques a été regroupé en deux : paramètres physiques tels que le pH, la conductivité électrique (C.E), les taux de solides dissout (TDS) et la concentration des éléments en Plus Petite Molécule (ppm) en métaux lourds pour le Cuivre (Cu), Fer (Fe), Manganèse (Mn), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Zinc (Zn), Sodium (Na), Aluminium (Al), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Cadmium (Cd), Chrome (Cr). Ce choix est dû aux normes de l'OMS (2004 et 2017), à la nature du sol et aux caractéristiques des réservoirs et citernes. (*Maoudombaye, et al., 2015*) révèlent que la nature de terrain traversé par les eaux est la cause naturelle de variations importantes du pH. Les pH montrent une variabilité spatiale de l'eau. L'approche organoleptique et l'analyse physicochimique permettront la mise en corrélation de la perception des habitants et des analyses au laboratoire. À l'aide d'un Système de Positionnement Global (GPS), et le logiciel Quantum GIS ; les cartes ont été élaborées.

Résultats et discussion

Qualité des sources d'approvisionnement en eau des populations dans les rayons des Stations-Service Bon Berger et GPP.

Les investigations montrent que dans les deux zones d'études, les ménages utilisent l'eau des forages et des puits pour différents travaux ménagers (boisson et autres besoins). Quant aux caractéristiques organoleptiques de l'eau des puits et des forages deux catégories se révèlent ; l'eau des puits et des forages supposée polluée et non polluée. Le tableau n°1 présente 53 ménages enquêtés quant à leur fréquentation à la station et à l'environ pour se procurer l'eau.

Tableau n°1. Qualité de l'eau consommée par les ménages du secteur Bon Berger

Avenue	Ménages	Eau de forage		Eau de puits	
		Supposée Polluée	Supposée Non polluée	Supposée polluée	Supposée Non polluée
Biayi	16	-	11	5	-
Dilolo	5	-	-	-	5
De Prince	14	-	8	-	6
Du Foyer	9	-	9	-	-
Kashobwe	9	-	-	9	-
Total	53		28	14	11
%	100	-			

Source : Traitement Sangwa 2018-2019

Le tableau ci-haut révèle que 28 ménages sur 53 utilisent l'eau des forages supposée non polluée. Ils proviennent respectivement des avenues Biayi, de Prince et du Foyer. L'analyse des eaux de puits stipulent 14 ménages sur 53 utilisent l'eau des puits supposée polluée. Ces ménages proviennent successivement des avenues Biayi et Kashobwe. L'examen de l'eau des puits supposée non polluée indique que 11 ménages sur 53 emploient cette eau. Ils résident respectivement sur les avenues Dilolo et de Prince. De nos analyses, il se dégage que 14 ménages sur 53 consomment une eau impropre ; cette situation est liée au niveau socio-économique de ces ménages d'une part et le non approvisionnement de la Régideso d'autre part.

Qualité en eau d'approvisionnement des ménages des environs du secteur de la station-service Groupe Petro Petroleum (GPP)

De cette enquête, il se révèle que dans le secteur GPP, 64 ménages s'approvisionnent en eau pour la boisson, les travaux ménagers et autres besoins. Le tableau n°2 ci-dessous élucide les proportions des ménages qui utilisent l'eau de forages se trouvant dans le secteur de la station-service GPP. Le tableau n°2 ci-dessous illustre les caractéristiques des eaux de forages et puits consommés par des ménages pour différents besoins.

Tableau n° 2. Qualité de l'eau de la station-service GPP

Avenue	Ménages	Eau de forage		Eau de puits	
		Supposée polluée	Supposée Non polluée	Supposée Polluée	Supposée non polluée
Biayi	29	26	-	-	3
Dilolo	10	10	-	-	-
Kabwit	15	7	-	8	-
Libération	10	10	-	-	-
Total	64	53	-	8	3
Pourcentage	100	82,8	-	12,5	4,7

Source : Traitement Sangwa 2018-2019

Ce tableau renseigne que 53 ménages sur 64 soit 82,8% utilisent l'eau de forage supposée polluée se trouvant dans l'enceinte de la station-service GPP ; l'eau de ce forage est supposée polluée par le réservoir de carburant de manière souterraine. Ces ménages proviennent respectivement des avenues Biayi, Dilolo au Nord de l'avenue du Trente Juin, Kabwit, Liberation. 12,5% des ménages emploient l'eau de puits supposée polluée résident sur l'avenue Kabwit. Ces puits sont contaminés par la station-service GPP qui représente l'épine dorsale de la contamination sur cette partie. L'utilisation de cette eau contaminée est liée à l'absence de l'eau de la Regideso au niveau des robinets d'une part et le niveau socio-économique des ménages d'autres part. 4,7% ménages utilisent l'eau de puits non polluée ; ces ménages se localisent essentiellement sur l'avenue Biayi.

Qualité des eaux dans les sources d'eau situées dans les environs des stations-service étudiées

Les paramètres physico-chimiques et organoleptiques des eaux des puits et de forages ont fait l'objet de la préoccupation de cette étude sur la qualité de l'eau de deux secteurs d'enquêtes (Bon Berger et GPP). Les résultats sont présentés dans les lignes qui suivent de deux secteurs Bon Berger et Groupe petropetroleum.

Qualité organoleptique des eaux de puits et forages dans les secteurs Bon Berger et GPP

Dans ces deux secteurs, Bon Berger et Groupe Petro Petroleum (GPP), 25 échantillons ont été prélevés dans 17 puits et 8 forages. Les aspects qui ont été analysés sont entre autres, la couleur, l'odeur, le goût ou saveur de l'eau. Dans le secteur Bon Berger, Les prélèvements ont été effectués dans 3 puits et un forage. Les résultats sont consignés dans le tableau n°3 ci-dessous.

Tableau n° 3. Caractéristiques organoleptiques des eaux de puits et de forages du secteur de la station-service Bon Berger

Avenue	Latitude	Longitude	Altitude	Numéro de L'échantillon	Caractéristiques organoleptiques			Substances polluantes
					Goût	Couleur	Odeur	
Biayi	-11 64 079	27°46' 526''	1233m	PKSB 1	Mauvais goût	Incolore	Mauvaise odeur	Infiltration de particules de surfaces
Biayi	-11 64 006	27°46' 495''	1232m	FKSB2	Excellent	Incolore	Inodore	-
De Prince	-11 64 085	27° 46' 485''	1235m	PKSB3	Bon goût	Incolore	Inodore	-
Kashobwe	-11 64 071	27°46 ' 438''	1226m	PKSB4	Mauvais goût	Jaunâtre	Mauvaise odeur	Eaux des surfaces

Source : Enquête Somp 2018-2019

L'observation du tableau n°3 révèle que les échantillons prélevés dans le secteur Bon Berger, sur l'avenue Biayi du Puit Secteur Bon Berger (PSB1) ont un mauvais goût et une mauvaise odeur mais incolore ; l'eau de forage Secteur Bon Berger Forage (FSB2) de la station-service Bon Berger est une eau incolore, inodore et a un goût excellent. Tandis que sur l'avenue de Prince le puit Kalubwe Secteur Bon Berger (PSB3) a une eau incolore, inodore et a un bon goût ; le puit (PSB4) a une eau incolore et inodore et a un bon goût. Les eaux de deux puits sur les avenues Biayi et Kashobwe sont supposées polluées par autres substances qui proviendraient des infiltrations des eaux de surface. Seul le forage de la station Bon Berger présente les normes de potabilité de l'OMS et les eaux des puits se trouvant sur l'avenue de Prince sont supposées non polluées. La qualité organoleptique de l'eau de puits et forage varie selon le milieu d'étude.

L'observation du tableau n°3 révèle que les échantillons prélevés dans le secteur Bon Berger, sur l'avenue Biayi du Puit Secteur Bon Berger (PSB1) ont un mauvais goût et une mauvaise odeur mais incolore ; l'eau de forage Secteur Bon Berger Forage (FSB2) de la station-service Bon Berger est une eau incolore, inodore et a un goût excellent. Tandis que sur l'avenue de Prince le puit Kalubwe Secteur Bon Berger (PSB3) a une eau incolore, inodore et a un bon goût ; le puit (PSB4) a une eau incolore et inodore et a un bon goût. Les eaux de deux puits sur les avenues Biayi et Kashobwe sont supposées polluées par autres substances qui proviendraient des infiltrations des eaux de surface. Seul le forage de la station Bon Berger présente les normes de potabilité de l'OMS et les eaux des puits se trouvant sur l'avenue de Prince sont supposées non polluées. La qualité organoleptique de l'eau de puits et forage varie selon le milieu d'étude.

Qualité organoleptique des eaux de Puits et Forages dans le secteur GPP et Bon Berger

Dans le secteur GPP, les prélèvements ont été effectués dans 13 puits et 8 forages se trouvant dans le périmètre de la station-service dont l'un de forage se situe dans l'enceinte de la station-service. Le tableau n°4 ci-dessous présente la situation détaillée.

Tableau n°4. Caractéristiques organoleptiques des eaux de Puits et de Forages dans le secteur de la station-service Groupe Petro Petroleum (GPP) et Bon Berger

Avenue	Longitude	Latitude	Altitude	Numéros d'échantillons	Qualités organoleptiques			Substances polluantes	Source de pollution
					Goût	Couleur	Odeur		
Biayi	27°46'436"	-11°62'986"	1251m	FSG1	Excellent	Incolore	Inodore	-	-
Biayi	27°46'397"	-11°63'533"	1241m	PSG2	Bon	Incolore	Inodore	-	-
Biayi	27°46'378"	-11°63'717"	1233m	PSG3	Bon	Incolore	Inodore	-	-
Biayi	27°46'247"	-11°63'342"	1244m	PSG4	Bon	Incolore	Inodore	-	-
Biayi	27°46'406"	-11°63'540"	1241m	PSG5	Mauvais	Jaune clair	Mauvaise	Autres substances que le carburant	Eaux des surfaces
Biayi	27°46'416"	-11°63'322"	1239m	PSG6	Mauvais	Jaune clair	Très mauvaise	Autres substances autre que le carburant	Eaux des surfaces
Biayi	27°46'572"	-11°63'309"	1248m	PSG7	Bon	Incolore	Inodore	-	-
Biayi	27°46'399"	-11°63'358"	1243m	FSG8	Très mauvais	Incolore	Mauvaise	Carburants	Station-service GPP
Dilolo	27°46'529"	-11°63'263"	1249m	PSG9	Mauvais	Incolore	Inodore	-	-
Dilolo	27°46'563"	-11°63'357"	1243m	PSG10	Mauvais	Jaune clair	Très mauvaise	Autres substances que le carburant	Eaux des surfaces
Dilolo	27°46'563"	-11°63'357"	1243m	PSG11	Mauvais	Jaune clair	Très mauvaise	Autres substances que le carburant	-
Dilolo	27°46'561"	-11°63'885"	1243m	PSG12	Bon	Incolore	Inodore	-	-
Libération	27°46'029 "	-11°63'426"	1228m	PSG13	Bon	Incolore	Inodore	-	-
Libération	27°46'247 "	-11°63'342"	1244m	FSG14	Excellent	Incolore	Inodore	-	-
Libération	27°46'391"	-11°63'169 "	1249m	FSG15	Excellent	Incolore	Inodore	-	-
Libération	27°46'336 "	-11°63'331"	1241m	FSG16	Excellent	Incolore	Inodore	-	-
Kabwit	27°46'356 "	-11°63'316"	1245m	PSG17	Très Mauvais	Incolore	Mauvaise	Carburants	Station-service GPP
Kabwit	27°46'084"	-11°63'372"	1235m	PSG18	Bon	Incolore	Inodore	-	-
Kabwit	27°46'397"	-11°63'185"	1246m	FSG19	Excellent	Incolore	Inodore	-	-
Kabwit	27°46'413"	-11°63'407"	1242m	PSG20	Mauvais	Incolore	Inodore	-	-
Kabwit	27°46'259"	-11°63'404"	1240m	FSG21	Excellent	Incolore	Inodore	-	-

Source : Enquête Sompo 2018-2019

En observant le tableau n°4, on constate que 50% des puits ont des eaux d'un bon goût, inodores et incolores ; 28,57% ont des eaux de mauvais goût, une mauvaise odeur et ont une couleur jaune clair. Les puits du secteur GPP (PSG17) et de l'avenue Kabwit ont une eau qui dégage l'odeur du carburant (Essence) ; cette contamination proviendrait des fuites des réservoirs de la station-service GPP.

Quant aux eaux des forages de ce secteur, on constate que 85,7% ont un goût excellent, leurs eaux sont inodores et incolores. Seul le forage du secteur GPP (FSG8) qui se trouve dans l'enceinte de la station-service GPP a une eau incolore, mais dégagent une odeur du carburant. Cette zone est constituée de deux sources d'approvisionnement en eaux, (puits artisanaux et forages). La partie centrale au niveau de la station-service où est implantée des réservoirs de carburants considérés comme source de pollution se dirige vers le Nord-Ouest.

Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Puits et Forages dans les secteurs Bon Berger et GPP

Le tableau n°5 ci-dessous présente, les paramètres physiques : le Potentiel hydrogène(pH) ; la Conductivité électrique (CE) ; Taux de solides dissous (TDS ; des eaux de puits et forages selon qui sont conformes ou non à la norme OMS. Dans le secteur Bon Berger, les prélèvements ont été effectués dans 3 puits et 1 forage.

Tableau n° 5. Variation des paramètres physiques du secteur Bon Berger
Source : Traitement Sangwa 2018-2019

Identification de l'échantillon	Potentiel hydrogène(pH)	Norme Potentiel hydrogène (pH)	Conductivité électrique (C.E)	Norme Conductivité Electrique (CE)	Taux de solides dissous (TDS)	Norme Taux de solides dissous (TDS)
		6,5-8,5		< 250µs/cm		<1000 $\frac{mg}{l}$
Puit Kalubwe Secteur Bon Berger 1	6,05	Non conforme	89	Conforme	58	Conforme
Puit Kalubwe Secteur Bon Berger 2	6,12	Conforme	85,9	Conforme	55	Conforme
Puit Kalubwe Secteur Bon Berger 3	6,75	Conforme	80,5	Conforme	53,3	Conforme
Forage Kalubwe Secteur Bon Berger 1	6,95	Conforme	100	Conforme	102	Conforme

En observant le tableau n°5, on constate que sur trois puits, deux puits sont conformes à la norme par rapport au pH et un puits est non conforme. Quant à l'eau de l'unique forage, les valeurs du pH, de la conductivité et de TDS sont conformes à la norme.

Le tableau n°6 regorge 14 puits et 7 forages. Il analyse les paramètres physiques tels que le pH, la conductivité électrique (C.E) et les totaux de solides dissout (TDS).

Tableau n°6. Variation de paramètres physiques du secteur GPP

Identification de l'échantillon	Potentiel Hydrogène (pH)	Norme potentiel Hydrogène (pH)	Conductivité Électrique (C.E)	Norme Conductivité Electrique (CE)	Taux du solide dissout (TDS)	Norme du Taux du solide Dissous (TDS)
		6,5-8,5		<250µs/cm		<1000 $\frac{mg}{l}$
Puit n°1	6,94	Conforme	65,2	Conforme	40,4	Conforme
Puit n°2	6,5	Conforme	113,8	Conforme	73,9	Conforme
Puit n°3	6,5	Conforme	161,4	Conforme	106,5	Conforme
Puit n°4	6,89	Conforme	186,4	Conforme	122,8	Conforme
Puit n°5	6,98	Conforme	46,9	Conforme	29,2	Conforme
Puit n°6	6,6	Conforme	189,2	Conforme	121,7	Conforme
Puit n°7	7,02	Conforme	246	Conforme	165	Conforme
Forage n°8	6,95	Conforme	157,1	Conforme	36,3	Conforme
Forage n°9	7,1	Conforme	164,4	Conforme	119,8	Conforme
Forage n°10	7,13	Conforme	309	Non conforme	189,3	Conforme
Forage n°11	7,3	Conforme	313	Non conforme	199,8	Conforme
Forage n°12	6,98	Conforme	157,1	Conforme	36,3	Conforme
Forage n°13	6,65	Conforme	160,5	Conforme	116,4	Conforme
Puits n°14	6,28	Non conforme	53,9	Conforme	24,8	Conforme
Puits n°15	6,03	Non conforme	65,8	Conforme	48,2	Conforme
Puits n°16	6,33	Non conforme	69,9	Conforme	49,9	Conforme
Puits n°17	5,45	Non conforme	57,7	Conforme	36,4	Conforme
Puits n°18	6,22	Non conforme	161	Conforme	94	Conforme
Puits n°19	5,85	Non conforme	48	Conforme	28	Conforme
Puits n°20	6,36	Non conforme	65,4	Conforme	40,8	Conforme
Forage n°21	5,45	Non conforme	158,3	Conforme	104,7	Conforme

Source : Traitement Sangwa 2018-2019

Le tableau 6 révèle que le pH des puits numéros 1 à 7 et les forages 8 à 13 ont des pH qui varient entre 6,5 et 7,3 ; leurs pH sont légèrement acides et neutres. Concernant les puits 14, 15, 16, 18, 20 leurs pH varient entre 6,0 à 6,36 ; ce qui fait que ces eaux sont acides. S'agissant des puits numéros 17, 19 et le forage numéro 21 dont leurs pH sont inférieurs à 6,0 ; leurs eaux sont très acides. Le puit n°19 et le forage n°21 sont deux sources d'eaux qui ont été contaminées par le carburant provenant de la station-service GPP ; cette pollution due aux fuites dans le réservoir de carburant se propage dans le sous-sol et contamine les nappes voisines. Ces sources d'eaux ne répondent pas à la norme de potabilité.

Les valeurs de la conductivité électrique (C.E) sont conformes aux normes pour les puits et forages à l'exception des forages n°10 et 11 ayant de valeurs respectives de 309 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 313 $\mu\text{s}/\text{cm}$ qui sont supérieures à la norme ($<250\mu\text{s}/\text{cm}$). Cela signifie que ces eaux sont minéralisées.

Toutes les valeurs de taux du solide dissout (TDS) pour les puits et forages sont comprises entre 24,8 et 199,8 mg/l. Ces variations du taux sont inférieures aux normes ($<1000\text{mg}/\text{l}$) relevant que les taux sont conformes à la norme (OMS, 2004).

La teneur en métaux dans les Puits et Forages des secteurs GPP et Bon Berger

En observant le tableau n°7a ci-dessous on constate que les teneurs en Cu, Fe, Cd et en Cr sont inférieures à la norme de l'OMS dans tous les puits et forages avec des valeurs respectives inférieures à 2,0 ; 0,003 et 0,05 mg/l. La teneur en Mn est supérieure au norme OMS dans quelques puits à l'exception des puits du secteur GPP (PSG3), (PSG4), (PSG5), (PSG7), (PSG9), (PSG10) et (PSG14) est représentent 33,3% des puits analysés. Pour ce qui concerne les teneurs, tous les puits et forages ont des teneurs inférieures à 70 à 200 mg/l pour le Ca ; à 50mg/l pour le Mg et 200mg/l pour Na. Quant à la teneur en Zn, seul le puit PSG2 à une teneur de 17,09mg/l qui est largement supérieur à la norme OMS. S'agissant des teneurs en Al, seuls les puits PSG2, PSG3, PSG9, PSG12 et le forage FSG21 ont respectivement des teneurs supérieures à 0,2 mg/l de l'Aluminium. Quant à la teneur en Ni, seul le puits PSG9 et le forage FSG21 ont respectivement des teneurs supérieures à 0,07mg/l, qui est la limite de la norme de l'OMS. Tous les puits et forages ont de teneurs inférieures en Cd, et en Cr. Les analyses des échantillons d'eau des puits et forages montrent des teneurs en Pb supérieures à la norme de 0,01 mg/l dans tous les puits et forages du secteur de la station GPP.

Tableau n° 7a. Teneur en métaux dans les Puits et Forages du Secteur station GPP

N° D'échantillon	Teneur en éléments métalliques en Plus Petite Molécule (ppm)											
	Cuivre (Cu)	Fer (Fe)	Manganèse (Mn)	Calcium (Ca)	Magnésium (Mg)	Zinc (Zn)	Sodium (Na)	Aluminium (Al)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)
PSG1	0,007	0,065	<0,003	0,361	>25,28	0,052	6,218	<0,031	0,006	0,143	<0,002	<0,003
PSG2	<0,002	0,069	<0,002	0,026	0,431	>17,09	<0,001	5,2	<0,007	0,253	<0,001	<0,003
PSG3	0,014	<0,001	0,358	3,258	0,182	<0,004	1,697	0,311	<0,007	0,253	<0,001	<0,002
PSG4	0,041	<0,002	0,831	16,378	1,136	0,031	4,597	<0,032	0,057	0,143	<0,002	<0,001
PSG5	0,082	<0,004	0,639	17,32	6,807	0,261	6,397	<0,026	<0,008	0,163	<0,011	<0,003
PSG6	0,066	<0,002	0,149	1,41	0,321	<0,001	1,008	<0,022	<0,004	0,239	<0,001	<0,002
PSG7	0,065	<0,002	0,81	1,56	1,175	<0,001	3,502	<0,022	<0,007	0,214	<0,001	<0,002
PSG8	0,069	<0,002	0,241	1,047	0,504	<0,001	4,088	<0,022	<0,007	0,183	<0,001	<0,002
PSG9	0,095	<0,002	1,738	2,484	4,565	0,058	10,791	0,731	0,071	0,234	<0,001	<0,002
PSK10	0,072	<0,002	0,349	0,322	0,74	<0,001	2,534	<0,022	0,011	0,185	<0,001	<0,002
PSG11	0,067	<0,002	0,291	0,26	0,141	<0,001	1,361	0,135	<0,007	0,165	<0,001	<0,002
PSG12	0,064	0,037	0,2	0,395	0,278	<0,001	0,622	0,291	<0,007	0,201	<0,001	<0,001
PSG13	0,097	<0,005	0,311	1,068	0,624	<0,002	4,325	<0,032	<0,005	0,164	<0,002	<0,004
PSG14	0,067	<0,002	1,089	17,318	9,16	<0,001	5,497	<0,022	0,01	0,348	<0,001	<0,002
FSG15	0,049	<0,009	0,461	0,395	0,651	<0,001	2,647	0,055	<0,022	0,145	<0,007	<0,006
FSG16	0,071	<0,002	0,7	4,727	1,012	0,064	5,775	<0,022	0,008	0,135	<0,001	<0,002
FSG17	0,007	<0,002	0,377	1,273	0,576	<0,003	3,975	<0,021	<0,009	0,154	<0,001	<0,003
FSG18	0,069	<0,002	0,078	1,888	2,504	0,003	2,74	<0,022	<0,007	0,122	<0,001	<0,002
FSG19	0,084	<0,004	0,317	0,314	0,164	<0,003	1,417	0,165	<0,009	0,187	<0,002	<0,005
FSG20	0,065	<0,002	0,177	1,133	0,176	<0,001	3,515	<0,022	<0,007	0,128	<0,001	<0,002
FSG21	0,099	<0,005	1,347	2,978	4,864	0,008	4,249	0,834	0,083	1,584	<0,006	<0,008
Normes OMS (2004)	2	0,3	0,4	70 à 200	50	3	200	0,2	0,07	0,01	0,003	0,05

Source : Résultats des analyses physicochimiques

Tableau n°7 b : Teneur des métaux dans les eaux des Puits et des Forages du secteur de la station Bon Berger

Identification de l'échantillon	Teneur en éléments métalliques (ppm)											
	Cu	Fe	Mn	Ca	Mg	Zn	Na	Al	Ni	Pb	Cd	Cr
Puit secteur Bon Berger 1	0,065	<0,004	0,347	1,679	3,09	<0,011	3,019	<0,019	<0,009	0,134	<0,003	<0,003
Puit Secteur Bon Berger 2	0,066	<0,005	0,321	3,74	2,95	<0,012	2,657	<0,021	<0,003	0,114	<0,001	<0,002
Puit Secteur Bon Berger 3	0,062	<0,004	0,348	1,697	1,679	<0,022	1,785	<0,017	<0,009	0156	<0,004	<0,001
Forage Secteur Bon Berger	0,071	<0,002	0,420	22,46	7,61	0,299	7,534	<0,022	<0,007	0,158	<0,001	<0,002
Normes OMS (2004)	2	0,3	0,4	70 à 200	50	3	200	0,2	0,07	0,01	0,003	0,05

Source : Résultats des analyses physicochimiques

Les analyses de la teneur en métaux lourds du tableau 7b indiquent que tous les puits et les forages ont de teneurs anormales et inférieures en Cu, Fe, Ca, Mg, Zn, Na, Al, Ni, Cd et en Cr. La teneur en Mn est normale dans l'unique forage. Par contre, tous les puits ont de teneurs faiblement inférieures à la norme de l'OMS. La teneur en Pb est supérieure à la norme de l'OMS dans tous les puits et forage. La carte ci-dessous présente la cartographie des puits, forages et stations-service et révèlent les caractéristiques spécifiques en métaux lourds et les substances organiques.

Dans le secteur GPP, il se dégage un grand nombre des puits traditionnels et de forages. Comme présenté sur la figure 4.

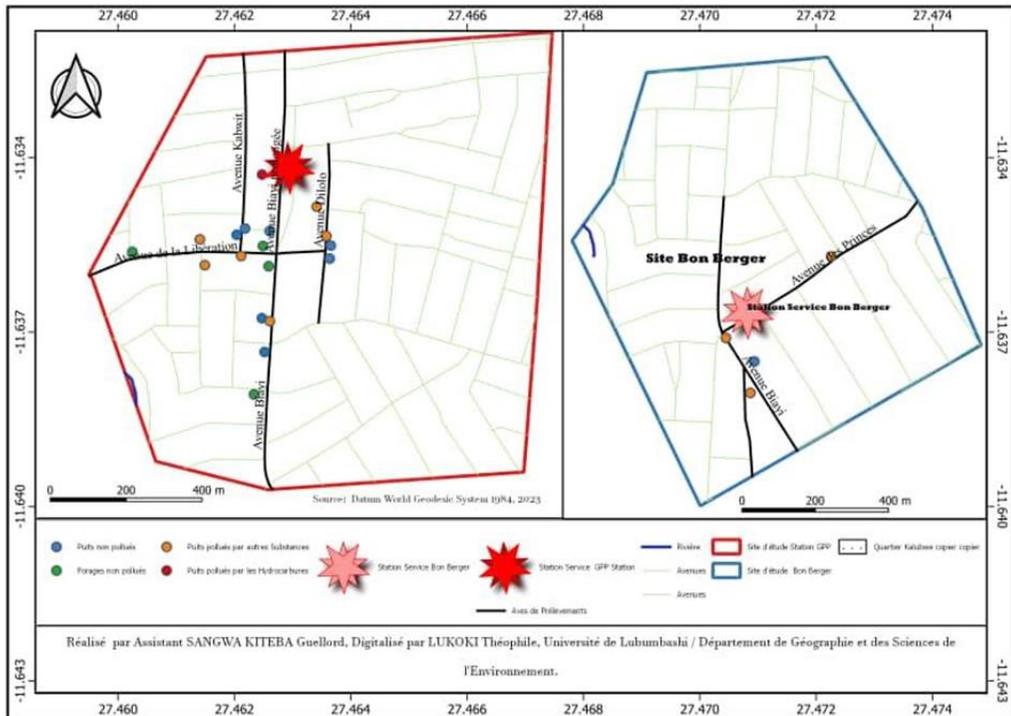


Figure 4 : Carte des points d'approvisionnement en eau dans les secteurs Bon Berger et GPP

La station-service GPP pollue la nappe jusqu'au environ de l'avenue Kabwit. Sur cette partie, les robinets sont rarement approvisionnés en eau par la Régideso. Cette situation pousse les habitants de ces parages à utiliser une eau plus accessible, nonobstant la qualité.

Dans la partie Sud-Est, on observe un essaimage lâche de puits par rapport au secteur GPP. Ces derniers concernent les puits des avenues Biayi, Kashobwe et de Prince. On constate au niveau de la station Bon Berger que la pollution des hydrocarbures n'a pas été constatée. Sur cette partie la contamination provient des eaux de surface (autres substances des eaux des pluies). Dans ce secteur le nombre de puits est faible. Cette situation est liée aux parcelles qui possèdent des robinets de la Régideso (Kanonga, 2018).

Résultats et Discussion

Les habitants du quartier Kalubwe sont exposés à d'énormes difficultés pour obtenir une eau de qualité et s'approvisionnent en eau des puits et des forages pourvu qu'ils étanchent leur soif et accomplissent leurs besoins ménagers (Sompo, 2019). Maoudombaye et al., 2016) renchérit que l'eau est

essentielle pour la vie, mais elle transmet des maladies dans les pays de tous les continents, des plus pauvres aux plus riches. Garantir aux pauvres une eau de bonne qualité est une mesure efficace de protection de la santé.

De cette étude, il ressort des paramètres analysés que les puits et forages de la stations-service GPP ont été contaminés par les hydrocarbures et cette station constitue l'épine dorsale de la pollution pour les puits en aval de celle-ci. Quant aux autres puits, ils sont contaminés par autres substances. L'analyse des eaux de forages répondent aux normes OMS à l'exception de la station GPP. *Mujinga (1997)* a évoqué les risques auxquels les habitants de la ville sont exposés en cas de la non-conformité des lois qui régissent le secteur. *Blaesius (1992)* stipule les risques auxquels les habitants sont exposés par rapport à la pollution des eaux souterraines due aux stations-service. *Hiegel (1995)* quant à lui, avait déjà révélé les risques liés aux stations-service à Strasbourg qu'il qualifia de risques technologiques mineurs. Pour *Asumani (2011)*, interpelle l'ignorance, la négligence de service chargé de l'environnement qui autorise les constructions, sans faire des études de l'emplacement, de la maintenance et le bon état de réservoirs de carburant ; on arrive à des situations qui mettent en danger la santé des populations.

Des enquêtes réalisées, il se dégage que certaines valeurs des eaux correspondent au pH des eaux naturelles (6,5-8,5) et semble provenir des aquifères carbonatés ou argileux dont leur pH se situe dans le domaine de $6,85 < \text{pH} < 7,35$ (*Nordine et al., 2015*). Certains puits et forages montrent une variabilité spatiale du pH par rapport à la norme OMS. D'après *Maoudombaye et al., (2015)* la nature de terrain traversé par les eaux est la cause naturelle de variations importantes du pH.

L'analyse des eaux des puits et des forages dans ces secteurs ont des valeurs inférieures en métaux lourds pour la majorité, mais ont tous un excès en Plomb dépassant la norme OMS (0,01 mg/L), élément chimique utilisé dans les industries et le carburant comme antidétonant ; il est très dangereux pour la santé. Selon *Piedrafita (2007)*, la station-service est une source importante des nuisances des sols et des eaux pour le voisinage direct. En effet, les métaux lourds se stockent principalement dans les reins et le cerveau chez l'homme. Ils peuvent affecter le système nerveux pour une exposition à des fortes doses et provoquer des nombreuses pathologies sévères, comme la sclérose en plaques, les maladies de neurones génératives (maladie d'Alzheimer et de parkinson), le cancer de poumon ; ils peuvent déclencher de troubles psychologiques et neurologiques comme l'autisme, la maladie de saturnisme. Comme dans les échantillons prélevés, la présence de Plomb est très répandue dans tous les puits artisanaux et les puits de forages dans ces secteurs d'étude et dépasse la norme OMS. Le plomb est un élément métallique très dangereux ; très lourd qui a tendance à s'accumuler dans les chaînes

alimentaires en provoquant des intoxications graves (*Van, 1990*). A forte dose, il est à la base du saturnisme.

Conclusion

Cette étude porte sur la qualité physico-chimique et organoleptique des eaux de puits artisanaux et de forages aux environs des stations-services Group petroleum et Bon Berger au Quartier Kalubwe. Suite aux difficultés d'approvisionnement en eau de qualités les habitants du Quartier Kalubwe s'approvisionnent en eau dans des puits artisanaux et dans des forages. De cette étude, il se dégage que tous les puits et forages dans ces secteurs ont des valeurs inférieures en métaux lourds pour la majorité, mais ont tous un excès en Plomb qui dépassent la norme OMS (0,01mg/L). Les puits des environs de la station-service Groupe Petropetroleum (GPP) ont été contaminés par les hydrocarbures. Quant aux autres puits, ils sont contaminés autres substances. L'analyse des eaux des forages répondent aux normes OMS à l'exception des eaux des puits et forages de la station GPP.

Pour être plus efficaces, les opérations de dépollution doivent être conduites, certes rapidement, mais aussi avec rigueur et méthode ; elles nécessitent en effet d'abord l'identification et la localisation précise de la fuite ; ensuite la reconnaissance détaillée de la zone polluée ; la mise en place des dispositifs de récupération (puits de pompe simple) et le contrôle analytique pendant plusieurs années des teneurs résiduelles en hydrocarbure dans l'eau.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Asumani, S., (2011). Qualité de l'environnement et santé de la population dans un milieu urbain d'Afrique tropicale : le cas de la ville de Lubumbashi. Thèse de doctorat en géographie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, inédit.
2. Belghiti, L., Chahlaoui, A., El Moustaine, R., Bengoumi, D., (2013). Contribution à l'étude de la qualité bactériologique de l'eau des sources dans la ville d'Elhajeb (Région De Meknès-Maroc). *Larhyss Journal*, 14, pp 37-47

3. Blaesius, J., (1992). Station hors service, *dernières nouvelles d'Alsace*, 6 décembre, p. 4
4. Francois, A., (1974). *Stratigraphie tectonique et minéralisation dans l'arc cuprifère du Shaba*, Ed. Gisement stratiformes et provinces cuprifères, Liège.
5. Hiegel, C., (1995). *Au risque de la ville les stations-services à Strasbourg. Un risque technologique mineur*. Mémoire DEA, en géographie, UFR, Strasbourg,
6. Kanonga, M., (2018). Rapport de bureau du quartier Kalubwe, Document, inédit
7. Maoudombaye, T., Ndoutamia, G., Seid, A., Et Ngakoua, B., (2015). Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de Doba au Tchad, universités de Doba et de N'Gaoundéré. *Larhys journal ISSN*, Vol 3 n°24, pp 193-208.
8. Maoudombaye, T., Ndoutamia, G., et Ngakou, A., (2016). Evaluation de la qualité Bacteriologique des eaux de puits, de forages et de Rivières Consommées dans le Bassin Pétrolier de Doba au Tchad. *International Journal of Recent Scientific Research* 7(6), pp. 12236-12243.
9. Mujinga, K., (1997). *Répartition spatiale des stations-services dans l'espace urbain : cas de la ville de Lubumbashi*. Mémoire de fin d'études en géographie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, inédit.
10. Mwanji, Y., (2014). *Répartition des stations-service dans l'espace urbain « cas de la ville de Lubumbashi »*. Mémoire de fin d'étude au Département de Géographie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, inédit.
11. Nordine, N., Khattach, D., et Mohamed, O., (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central Maroc). *Laboratoire des géosciences appliquée et Coste*. Vol 6 (4) p 1068-1081.
12. O.M.S (2004). Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la sante, *Ed. Incorporation*. Vol1. Genève.
13. OMS (2017). Directive de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. Intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum] <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>.
14. Piedrafita, C., Maria, V., (2007). *Pollution ponctuelle des sols : les cas des stations-services dans la région de Bruxelles*. Mémoire de fin

- d'étude en gestion de l'environnement. Université libre de Bruxelles, Bruxelles, Inédit.
15. Rapport Administratif (2018). *Mairie de la ville de Lubumbashi*.
 16. Rodolphe, C., Dirk, L., et Gert, M., (2004). Assainissement des sols des stations-services en Belgique, *Bofas ASBL*, 10 Décembre Bruxelles.
 17. Sacknann, L., et Zilliox, L. (1963). Pollution et protection des nappes d'eau souterraines. *Techniques et sciences municipales*. Vol, 6, p223-235.
 18. Sangwa, K., Musisilwa, L., Senga, I., Asumani, S., (2021). Impact de la Distribution spatiale des stations-service dans l'écosystème urbain de Lubumbashi en République démocratique du Congo. *European scientific journal*, ESJ February 2021 édition, Vol 17, n°7, pp 211-226.
 19. Sompo, K., (2019). *Qualité Physico chimique et organoleptique des eaux de puits et de forages aux environs des stations-service « Cas des stations-service Bon Berger et GPP au quartier Kalubwe »* Travail de fin bachelier, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, inédit.
 20. Van, W., (1990). *La mesure de l'impact des polluants sur la santé*. Belgique.

