



Risques de contamination par le nitrate et nitrite des sources d'eau potable de la zone de santé de Lukula dans la province du Kongo central en République Démocratique du Congo

Richard Gasigwa Sabimana^{1,2*}, Nana Nkiassi Ngadume², Lydie Phemba Botulu², Jean Nkongolo Mbuya², Glodi Nsilulu Makaba⁴, Roger Kizungu Vumilia^{2,3}

⁽¹⁾Université de Kinshasa. Ecole Régionale de l'eau. BP 117 Kinshasa XI (RDC). E-mail : richardsabimana@gmail.com

⁽²⁾Institut National pour l'Etude et la recherche Agronomique. BP 2037 Kinshasa/Gombe (RDC).

⁽³⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. BP 117 Kinshasa XI (RDC)

⁽⁴⁾ISP Boma. BP 151 Boma/Kongo central (RDC)

Reçu le 15 mai 2024, accepté le 14 octobre 2024, publié en ligne le 28 décembre 2024

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v7i4.4>

RESUME

Description du sujet. La contamination de l'eau par le nitrate et le nitrite est une préoccupation majeure dans le monde. Ainsi, la zone de santé de Lukula dans la province du Kongo central n'est pas épargnée de cette situation qui risque d'hypothéquer la santé publique.

Objectif. L'objectif de cet article est d'étudier le niveau de risque d'exposition des populations locales à la contamination en nitrate, nitrite et autres substances dissoutes ou en suspension dans l'eau souterraine dans la zone de santé de Lukula dans la province du Kongo central.

Méthodes. Pour répondre à l'hypothèse d'existence d'une contamination des eaux en nitrate et nitrite dans la zone d'étude, les paramètres physicochimiques des sources d'eau ont été analysés avec le logiciel R par les méthodes de classification hiérarchique automatique (CHA), d'analyse à composantes principales (ACP) et d'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM).

Résultats. Cette étude révèle l'hypothèse d'un risque des contaminations d'eau en nitrate et nitrite. Le risque peut être très sévère à court terme. Ce qui implique la possibilité de changement d'usage d'eau. L'eau destinée à la consommation servira pour usage d'irrigation. Et l'eau risque d'être endémique à long terme. C'est qui pourra être une source de beaucoup de conflits dans la zone, dans le contexte où l'eau potable est déjà très rare.

Conclusion. D'une manière générale, la concentration en nitrates tend à diminuer avec la profondeur dans le sol retraçant avec précision l'évolution croissante des apports de fertilisant depuis ses débuts à nos jours. À long terme, les concentrations en nitrates restent élevées dans les aquifères peu profonds à raison des apports continus de fertilisants azotés par l'agriculture.

Mots-clés : pollutions, anthropisation, eau potable, urbanisation, Nitrate, Nitrite.

ABSTRACT

Risks of nitrate and nitrite contamination of drinking water sources in the Lukula health zone in the province of Central Kongo

Description of the subject. Water contamination by nitrate and nitrite is a major concern worldwide. Thus, the Lukula health zone in Kongo Central province is not spared from this situation which risks jeopardizing public health.

Objective. The aim of this article is to study the level of risk of exposure of local populations to contamination by nitrate, nitrite and other substances dissolved or suspended in groundwater in the Lukula health zone in Central Kongo province.

Methods. To address the hypothesis of nitrate and nitrite contamination of water in the study area, physicochemical parameters of water sources were analyzed with R software using the methods of automatic hierarchical classification (AHC), principal component analysis (PCA) and multiple correspondence factorial analysis (MCFA).

Results. This study reveals the hypothesis of a risk of nitrate and nitrite contamination of water. The risk can be very severe in the short term. This implies the possibility of changing water use. Water intended for consumption

will be used for irrigation. And the water may become endemic in the long term. This could be a source of much conflict in the area, in a context where drinking water is already very scarce.

Conclusion. Generally speaking, nitrate concentration tends to decrease with depth in the soil, accurately tracing the increasing evolution of fertilizer inputs from its beginnings to the present day. In the long term, nitrate concentrations remain high in shallow aquifers due to the continuous input of nitrogen fertilizers by agriculture.

Keywords: pollution, anthropisation, drinking water, urbanisation, Nitrate, Nitrite.

1. INTRODUCTION

Depuis quelques années, la protection et la conservation des milieux naturels, en particulier les écosystèmes aquatiques sont devenues une préoccupation majeure (Bougherara *et al.*, 2009). En effet, la détérioration de la qualité des ressources en eau constitue une menace aussi importante que celle liée au déséquilibre quantitatif (Rahoui *et al.*, 2000), et l'agriculture est actuellement à l'origine d'une pollution de l'eau préoccupante dans certaines régions du monde (OCDE, 2004). La pollution des eaux d'origine agricole est généralement liée aux nitrates et/ou aux phosphates. La mise en évidence de la pollution causée par les pesticides est relativement récente (Carlier *et al.*, 1996).

Les nitrates possèdent une particularité que les autres substances polluantes n'ont pas, ils peuvent se trouver dans le sol et les eaux soit à la suite d'un apport d'engrais, soit comme la conséquence de processus biochimiques naturels qui dépendent étroitement des conditions pédoclimatiques et écologiques régionales. Par ailleurs, le transfert des nitrates vers les nappes est conditionné par un excès d'eau d'irrigation ou de pluie (Hammani *et al.*, 2004). Les nitrates sont stables dans le sol et peuvent y rester très longtemps. La pollution aux nitrates résulte d'un effet cumulatif depuis le début de la fertilisation des cultures par l'apport massif d'amendements organiques (fumier, lisier, résidus de récoltes, etc.) et d'engrais minéraux (Mariotti, 1998). Le contrôle de ce type de pollution dans les périmètres irrigués reste tributaire d'une meilleure connaissance des causes et des mécanismes responsables de cette pollution et qui sont spécifiques à chaque région. Ces connaissances permettront de proposer des solutions adaptées et d'appuyer les plans d'action de protection des ressources en eau souterraine dans ces zones à agriculture intensive (Drouiche *et al.*, 2013).

Plusieurs études ont montré des menaces de pollution affectant la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines et des surfaces en République Démocratique du Congo dû à l'anthropisation. Des valeurs de pH acides ainsi que de fortes teneurs en chlorures représentant l'agent principal affectant la qualité des eaux de consommation courante (Mwanza *et al.*, 2019), de forte teneur en cuivre (70,9 ppm) et cobalt (32,3 ppm) dans les effluents du complexe

hydrométallurgique de Shituru (Katemo *et al.*, 2010), proviennent de l'anthropisation de la rivière N'djili (Kakundika *et al.*, 2019), la proximité des installations septiques (City, 2019).

Dans le contexte administratif fragile de la RDC, l'absence de contrôle effectif du développement du territoire représente une menace fondamentale pour les sources stratégiques comme l'eau potable. La mauvaise planification de l'utilisation du territoire et l'insuffisance de la protection des sources d'eau - à tous les niveaux, des sources d'eau des villages aux zones de captage des usines de traitement de l'eau - affectent les progrès vers la réalisation des OMD et des objectifs du DSCR (Partow, 2011).

L'objectif de cet article est d'étudier le niveau de risque d'exposition des populations locales à la contamination en nitrate, nitrite et autres substances dissoutes ou en suspension dans l'eau souterraine dans la zone de santé de Lukula dans la province du Kongo central. L'étude donne des informations pouvant aider à une exploitation durable du mixte-environnemental dans le but d'éviter une quelconque contamination future accentuée par les activités anthropiques dans la région et susceptible d'engendrer des graves conséquences sanitaires dues à la pollution de l'eau.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Localisation du Milieu d'étude

La zone d'étude est localisée dans la province du Kongo central, plus précisément dans la zone de santé de Lukula. Les noms des villages qui font partie de cette étude avec les coordonnées géographiques des puits d'eau sont repris dans le Tableau 1. Lukula

Tableau 1. Les coordonnées géographiques des puits d'eau souterraine des villages de la zone de santé de Lukula

N°	SITES	Latitude Sud	Longitude Est
S1	KINDUKA	05°24'53,6''	012° 53' 50,1''
S2	KILONDE	05°26'37,2''	012° 53' 21,5''
S3	KIONDE I	05°27'40,5''	012° 50' 31,4''
S4	KIALA MONGO I	05°24'02,7''	012° 50' 26,9''
S5	KIBINONGA	05°23'57,3'	' 012° 52' 16,9''

S6	KINGOLA FUKA	05°24'14,9''	012° 52' 12,9''
S7	KIYANGI I	05°23'59,5''	012° 52' 20,4''
S8	KIZINGA	05°23'57,9''	012° 53'50,1''
S9	TUIDI YILA	05°21'55,8''	012° 59' 13,7''
S10	KIALA MONGO II	05°23'58,1''	012° 50' 24,6''

2.2. Echantillonnage

Le prélèvement et le conditionnement de 10 échantillons d'eau à analyser ont été effectués in-situ dans dix puits d'eau souterraine les plus fréquentés par la population dans chaque village. Les échantillons d'eau ont été prélevés durant la période allant d'avril à décembre 2018.

Après chaque prélèvement d'eau souterraine dans des flacons en plastique appropriés de 1 litre, ces derniers ont été étiquetés et mis dans une glacière à 4 °C et acheminés au laboratoire du Centre des Recherches Géologiques et Minières (CRGM) accompagnés d'une fiche de renseignements portant sur l'origine et la date du prélèvement ainsi que les conditions sanitaires du point de prélèvement. Il sied de signaler que les trois paramètres physico-chimiques (le pH, la température et la conductivité électrique) ont été mesurés in-situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon (Shima *et al.*, 2020).

2.3. Méthodes d'analyse

Les paramètres collectés ont été analysés avec le logiciel R par les méthodes de Classification Hiérarchique Automatique (CHA), l'Analyse en composantes principales (ACP) et l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM). Les paramètres physico-chimiques ci-après ont été évalués : le pH, la température, la conductivité, la turbidité, le titre hydrotimétrique (TH) ou dureté totale, le titre alcalimétrique (TA), le titre alcalimétrique complet (TAC), la matière en suspensions, l'oxydabilité au permanganate de potassium et les solides totaux dissous. Les substances indésirables comme les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les chlorures, les phosphates, les sulfates, les bicarbonates, le fer ; et les métaux lourds ont été analysés.

3. RESULTATS

3.1. Teneur en bicarbonate

Le bicarbonate n'est soumis à aucune norme légale en ce qui concerne l'eau de boisson, néanmoins, suivant la norme pour l'eau d'irrigation, trois groupes distincts respectivement ont été formés : A, B et C. C'est-à-dire, lorsque la teneur en bicarbonate de l'eau d'un puits d'eau varie entre 20 et 40 mg/l, l'eau est considérée ayant une teneur nulle, et est classée dans le groupe A, et est respectivement de groupe B lorsque la teneur en bicarbonate de l'eau varie entre 40 et 80 mg/l, l'eau

est considérée ayant une teneur légère à modération, et de groupe C, ayant une teneur sévère, lorsque la teneur en bicarbonate de l'eau varie entre 80 et 120 mg/l. Par ailleurs, pour l'eau de robinet, la demande en bicarbonate dissoute varie entre 40 et 50 g/l et pour l'eau pure, la demande en bicarbonate dissoute varie entre 80 et 87,01 g/l.

De ce qui précède, cinq catégories peuvent être identifiées comme suite :

1. Première catégorie : eau irrigation à teneur nulle, la demande en bicarbonate dissout varie entre 20 et 40 mg/l ;
2. Deuxième catégorie : eau de robinet, la demande en bicarbonate dissoute varie entre 40 et 50 g/l ;
3. Troisième catégorie : eau d'irrigation à teneur léger à modération, la demande en bicarbonate dissout varie entre 50 et 80 mg/l ;
4. Quatrième catégorie : eau pure, la demande en bicarbonate dissout varie entre 80 et 87,01 g/l ; et,
5. Catégorie 5 : eau d'irrigation à teneur sévère, la demande en bicarbonate dissoute varie entre 87.01 et 120 mg/l;

Le résultat d'analyse montre que la qualité de l'eau souterraine trouvée dans la zone d'étude n'est pas très appropriée pour le robinet, c'est-à-dire pour la consommation humaine. La qualité de cette eau souterraine convient plus pour l'irrigation à teneur nulle en bicarbonate, soit 70 % et pour l'irrigation à teneur sévère en bicarbonate, soit 30 % (Tableau 2.).

3.2. Teneur en pH

Suivant la norme OMS, il n'y a pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 9,5. Le résultat d'analyse suivant la teneur en pH, a montré que les eaux souterraines échantillonnées dans les sources d'eau comme étant l'eau souterraine potable ont une valeur optimum suivant l'OMS (Tableau 2. Résultats de l'analyse Factorielle des Correspondantes Multiples).

3.3. Norme pour la température

Suivant la température, les eaux souterraines peuvent être classifiées en trois groupes respectivement : les eaux souterraines à température naturelle, température comprise entre 12,2 et 18,8 °C ; les eaux souterraines à température élevée, température comprise entre 18,8 et 26,30 °C ; et les eaux souterraines à température très élevée, température comprise entre 26 et 30 °C. Le résultat d'analyse suivant la température classe les eaux souterraines échantillonnées dans les sources d'eau comme étant de température très élevée, soit 90 %, et élevée, soit 10 % (Tableau 2.).

3.4. Teneur en Sulfate

La teneur en sulfate (SO_4) suivant la norme OMS est de 500 mg/l. Il s'en suit que suivant la norme OMS en sulfate, on peut classer les eaux échantillonnées dans les sources respectivement comme étant les eaux souterraines à faible concentration en sulfate, teneur inférieure à 500 mg/l, les eaux souterraines potables à concentration en sulfate norme OMS, teneur égale 500 mg/l et les eaux souterraine à concentration en sulfate très élevée, teneur en sulfate supérieure à 500 mg/l. Le résultat d'analyse montre que tous les échantillons d'eaux souterraines des puits de cette zone d'étude ont une faible concentration en sulfate (Tableau 2.).

3.5. Norme pour le Fer

Il n'y a pas de valeur guide dans la norme OMS, mais nous nous laisserons guider par la concentration normalement trouvée dans l'eau de surface qui varie entre 0,5 et 50 mg/l. Les analyses ont montré une faible concentration en Fer dans les eaux souterraines des puits d'eau de la région. Ceci

étant obtenu en comparant la teneur en Fer des eaux souterraines des puits d'eau de la région avec la concentration normale en Fer trouvée dans l'eau de surface (Tableau 2.).

3.6. Norme pour le Nitrate

La ligne directrice fixée par l'OMS pour la concentration en nitrate (NO_3) et en nitrite (NO_2) est fixée comme suite : si la teneur de la concentration en nitrate ou en nitrite dans l'eau est comprise entre 50 et 3 mg/l, l'eau présente un risque d'exposition à court terme, en outre, une exposition à long terme si la concentration en nitrate ou en nitrite dans l'eau est comprise entre 0,2 mg/l. Les résultats de l'analyse indiquent que sur 9 sources, soit 90 % présentent un risque d'exposition à court terme de l'eau en nitrate et nitrite. Il s'agit respectivement des sources (puits) d'eau S1, S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9 et S10. Une seule source d'eau présente un risque d'exposition à long terme, soit la source d'eau S5 (Tableau 2).

Tableau 2. Résultats de l'analyse Factorielle des Correspondantes Multiples

Sources d'eau	Bicarbonate	PH	Température	Sulfate	Nitrate	FER
S1	Eau irrigation teneur Sévère	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S2	Eau irrigation teneur Sévère	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S3	Eau irrigation à teneur nulle	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S4	Eau irrigation à teneur nulle	pH valeur optimum OMS	T° élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S5	Eau irrigation à teneur nulle	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à long terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S6	Eau irrigation à teneur nulle	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S7	Eau irrigation teneur Sévère	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S8	Eau irrigation à teneur nulle	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S9	Eau irrigation à teneur nulle	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface
S10	Eau irrigation à teneur nulle	pH valeur optimum OMS	T° très élevée	Faible concentration sulfate	Exposition à court terme	Concentration faible en Fer dans l'eau de surface

Résultats des analyses physico-chimique (Shima *et al.*, 2020), présentés suivant les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006.

Les échantillons d'eau prélevés dans les dix puits d'eau (source d'eau) des villages susmentionnés ont été classés en 4 classes homogènes par la méthode ward de classification automatique, respectivement classe 1 : source d'eau S6 ; classe 2 : les sources d'eau S3, S4, S5, S9 et S10; classe 3 : la source d'eau S8 et classe 4 : les sources d'eau S1, S2 et S7 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La première et la deuxième classe peuvent se ranger en un groupe dans le sens qu'elles sont similaires, elles sont caractérisées par la forte minéralisation, un le

pH élevé et des températures élevées (Erreur ! Source du renvoi introuvable.). La troisième et la quatrième classe sont aussi des classes similaires dans le sens qu'elles sont peu minéralisées.

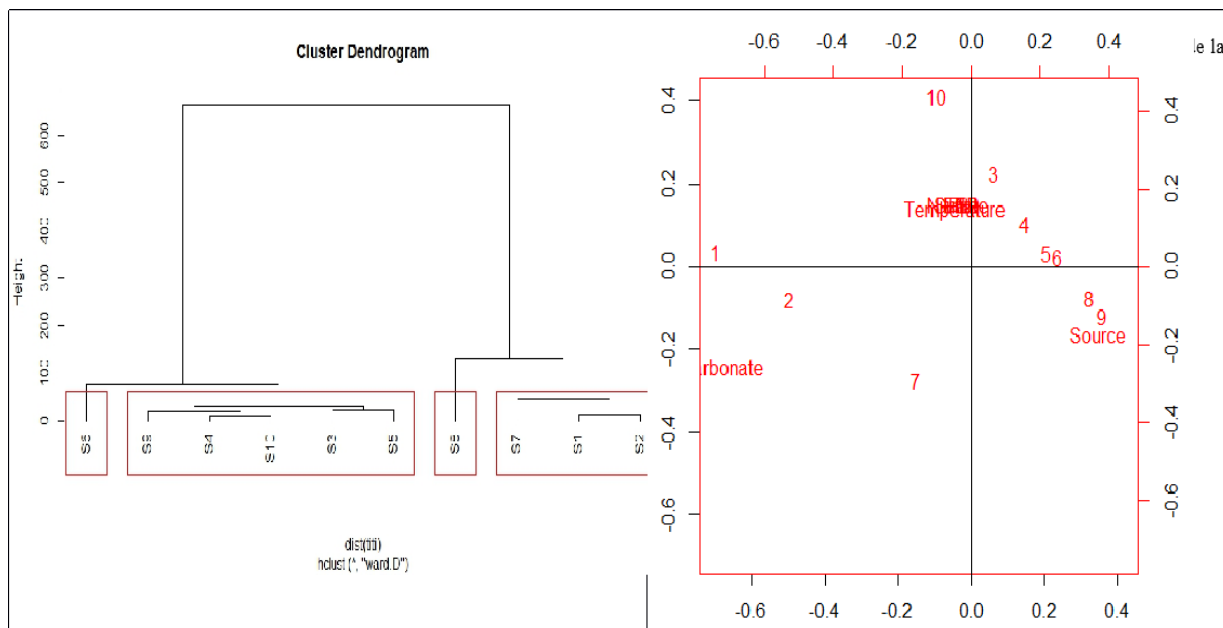


Figure 1. Classification des sources d'eau en fonction de la minéralisation

Figure 2 : cartographie des sources d'eau en fonction de la teneur de la minéralisation

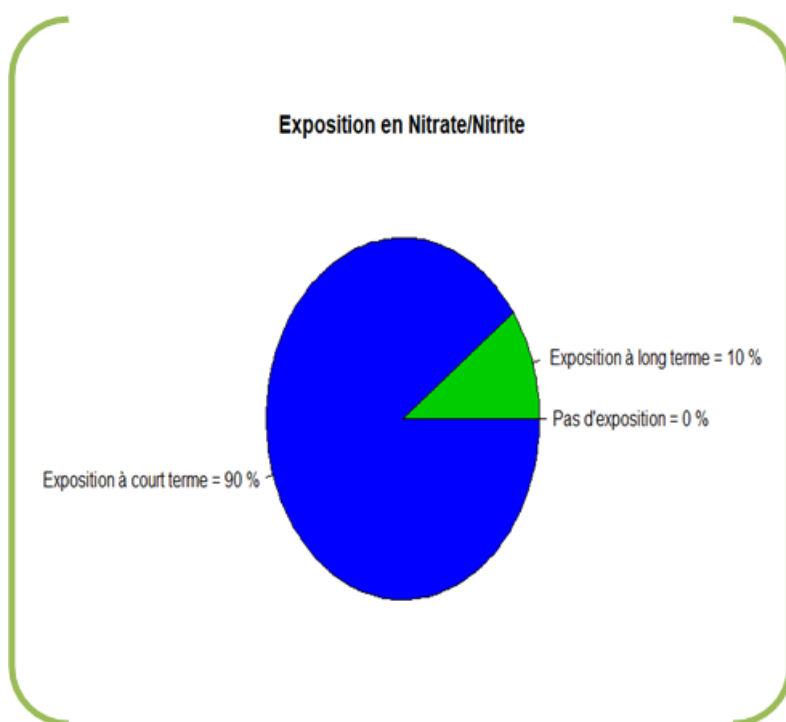


Figure 3. Exposition en nitrate ou nitrite (%)

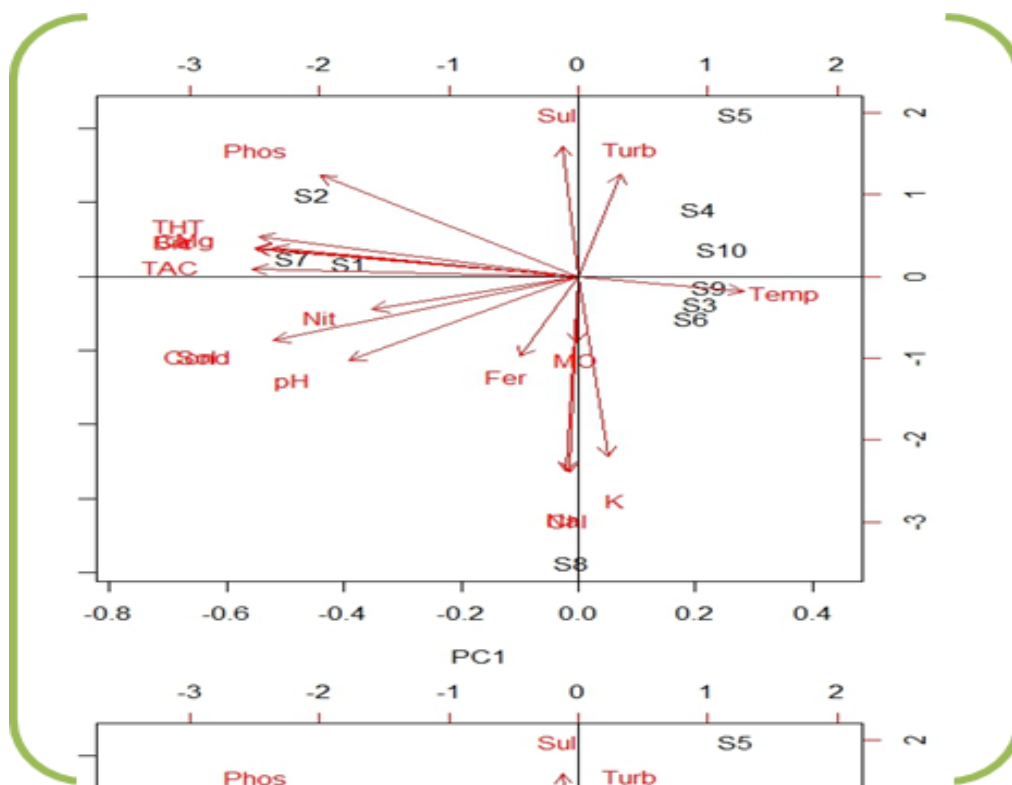


Figure 4. Cartographie des sources d'eau en fonction des substances dissoutes

D'une manière générale, il convient de signaler la probabilité à 69 % de risque d'exposition de la population à l'eau contaminée en nitrate et nitrite. Soit 10 % de risque à long terme, et le village Kibinonga est le plus affecté. Et soit 90 % de risque à court terme, et les villages les plus affectés sont respectivement Kinduka, Kilonde, Kionde 1, Kiala Mongo I, Kingola Fuka, Kiyangi, Kizinga, Tuidi Yila, Kiala Mongo II (Tableau 2). Par conséquent, on peut raisonnablement émettre l'hypothèse d'un risque à court terme de pollution très sévère des eaux des villages, ou l'eau ne sera plus potable, mais juste pour l'usage d'irrigation, à cause d'une forte concentration qui sera identifiée respectivement en bicarbonate, pH, sulfate, nitrate et nitrite (), avec soit 60 % des sources d'eau enquêtées ayant une température d'eau hautement supérieures à la norme (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les puits d'eau le plus touchés sont du premier groupe. Ces puits d'eau sont localisés dans les villages très respectivement Kionde 1, Kiala Mongo I, Kibinonga, Kingola Fuka, Tuidi Yila Et Kiala Mongo II (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**et).

Eigenvalues					
1	2.15	61.4%	dur.nulle...pHvaleur.optimum.OMS...T..élévée.Faible.concentration.sulfate.Exposition.à.court.termes.Co		
2	1.15	32.6%			
3	0.25	7.0%			
4	0.15	4.2%			
5	0.10	2.8%			
6	0.05	1.4%			
7	0.03	0.8%			
8	0.02	0.5%			
9	0.01	0.3%			
10	0.01	0.2%			
11	0.01	0.2%			
12	0.01	0.2%			
13	0.01	0.2%			
14	0.01	0.2%			
15	0.01	0.2%			
16	0.01	0.2%			
17	0.01	0.2%			
18	0.01	0.2%			
19	0.01	0.2%			
20	0.01	0.2%			

Figure 2 : risques des pollutions des puits d'eau

4. DISCUSSION

La conductivité détermine l'ensemble des sels minéraux dissous dans l'eau (Rejsek, 2002 ; Rodier *et al.*, 2009). Le résultat de l'analyse montre que le premier groupe a une conductivité moyenne de 183 $\mu\text{S}/\text{cm}$, il est donc plus minéralisé que le deuxième groupe, soit une conductivité moyenne de 54,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Shima *et al.*, 2020). La minéralisation participe à la salinisation puisqu'il s'agit de l'enrichissement de l'eau en ions ; les ions les plus fréquents sont le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium, les chlorures, les sulfates, les bicarbonates et les carbonates, les nitrates et les phosphates (Aouidane, 2017 ; Boualla *et al.*, 2012 ; Hamouda *et al.*, 2009). Il existe une relation mathématique entre la somme des conductivités spécifiques de tous les ions présents dans l'eau et la conductivité de l'eau. Ainsi, plus une eau est minéralisée, plus sa conductivité augmente (Hoffmann *et al.*, 1996). Par conséquent, on peut raisonnablement émettre l'hypothèse d'une minéralisation, suivie d'une salinisation naturelle des terres basses, accentuée par les activités anthropiques dans les sources (puits) d'eau respectivement du premier groupe.

Bien que la teneur en nitrite ($<0,01$), la teneur en nitrate (moyenne de 4,8 mg/l) de tous les sites ont des valeurs inférieures à celles fixées par les normes de l'OMS (Shima *et al.*, 2020). Il convient de souligner que les nitrates sont très solubles dans l'eau (Majumdar, 2000). Les nitrates possèdent une particularité que les autres substances polluantes n'ont pas. Le transfert des nitrates vers les nappes est conditionné par un excès d'eau d'irrigation ou de pluies (Hammani *et al.*, 2004). Les analyses effectuées suivant la norme OMS mises à jour en 2006, renseignent sur une pollution en nitrate à l'avenir. Soit 90 % des puits d'eau sont exposés en nitrate à court terme et 10 % à long terme. Ceci se justifie dans le sens que l'augmentation des concentrations en nitrates dans les eaux superficielles et souterraines est principalement liée au développement de l'agriculture intensive à partir de la deuxième moitié du XX^e siècle (Mohammad *et al.*, 2004).

L'agriculture est en grande partie responsable de l'augmentation des nitrates par l'utilisation d'engrais (ammonitrate, urée, etc.) et la culture des légumineuses. Les nitrates NO_3^- sont un produit de la dégradation de l'azote par les bactéries. La quantité de nitrates dans les eaux souterraines est directement liée aux quantités de fertilisants azotés épandus sur les surfaces agricoles situées au-dessus de nappes phréatiques. Les nappes avec de fortes recharges d'eau (remontées de la nappe), corrélées à de fortes charges d'azote épandues sur le sol,

présentent les concentrations de nitrates les plus élevées.

D'une manière générale, la concentration en nitrates tend à diminuer avec la profondeur dans le sol retraçant avec précision l'évolution croissante des apports de fertilisants depuis ses débuts à ces jours. À long terme, les concentrations en nitrates restent élevées dans les aquifères peu profonds en raison des apports continus de fertilisant azoté par l'agriculture (Mohammad *et al.*, 2004). Les impacts humains sur le cycle de l'azote sont les effets directs et indirects, de l'Homme sur le cycle de l'azote. En raison de la grande inertie de la pollution aux nitrates, même avec l'arrêt complet des intrants azotés, les concentrations en nitrates mettraient probablement de nombreuses années avant de décroître significativement.

5. CONCLUSION

D'une manière générale, la concentration en nitrates tend à diminuer avec la profondeur dans le sol retraçant avec précision l'évolution croissante des apports de fertilisant depuis ses débuts à ces jours. À long terme, les concentrations en nitrates restent élevées dans les aquifères peu profonds en raison des apports continus de fertilisants azotés par l'agriculture. Cette étude révèle l'hypothèse d'une contamination des eaux en nitrate et nitrite. La zone d'étude court un risque à court terme de pollution très sévère des eaux des sources d'eau potable, capable de changer l'usage naturel de l'eau potable de consommation à l'eau d'irrigation. A la longue, la consommation de l'eau dans cette zone sera endémique. Ceci occasionnera une crise d'eau potable dans un contexte où l'eau potable est déjà très rare.

Cette situation devrait soulever une interrogation sur la géochimie du sol et sous-sol du site, pouvant conduire à des études approfondies et à des recommandations pour une exploitation durable du mixte-environnemental, dans le but d'éviter une quelconque contamination future accentuée par les activités anthropiques dans la région, susceptible d'engendrer des graves conséquences sanitaires. La consommation d'une eau fortement contaminée aux nitrates peut entraîner divers troubles de la santé : méthémoglobinémie, cancer gastrique, goitre, malformations congénitales, hypertension.

Références

Aouidane L., 2017. *Origines de la salinisation des eaux et des sols d'une zone à climat semi-aride: Cas de Remila (W. Khenchela)* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).

- Boualla N., Benziane A. & Derrich Z., 2012. Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran). *Journal of Applied BioSciences*, 53, 3787-3796.
- Bougherara A. & Lacaze B., 2009. Etude préliminaire des images LANDAST et ALSAT pour le suivi des mutations agraires de Ziban (extrême Nord-Est du Sahara Algérien) de 1973 à 2007. *Journées d'animation scientifique (JAS09) de l'AUF Alger, Novembre 2009*, pp. 25-35.
- Carluer N., Gouy V. & Gril J.J., 1996. Contamination des eaux de surface par produits phytosanitaires et modélisation. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, 6, 19 - 30. (hal-00476081)
- City B., 2019. Hydrogéochimie et susceptibilité à la contamination des eaux souterraines dans le secteur de Panzi, ville de Bukavu, RD Congo. *Geo-Eco-Trop*, 43(1), 197-209.
- Drouiche A. M., ChaibW., Rezeg A. & Bougherira N., W. Hamzaoui et L.Djabri, 2013. Risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates en régions arides : cas d'Elghrous (Région des Ziban-Sud-Est Algérien), CRSTRA. *Journal Algérien des Régions Arides*, N°Spécial 2013, pp. 65-75.
- Hammani A., Kuper M. & Abdelhafid D., 2004. La modernisation de l'agriculture irriguée. *Actes du séminaire Euro - Méditerranéen. 19 au 23 avril 2004, Rabat, Maroc : Projet INCO-WADEMED*, vol. 2, pp 358-368.
- Hamouda M. F. B., Leduc C., Tarhouni J. & Zouari K., 2009. Origine de la minéralisation dans l'aquifère plio-quadernaire de la côte orientale du cap Bon (Tunisie). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 20(1), 78-86.
- Hoffmann F. & Pellegrin J-C., 1996. *Méthodologies hydrochimiques*, in *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, 14, 13-79.
- Kakundika J. M., Musibono D. E., Saila Y. I. & Tangou, T.T., 2019. Facteurs environnementaux dégradants des cours d'eaux urbains: Cas de la rivière N'djili à Kinshasa (RDC). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27(3), 818-830.
- Katemo Manda B., Colinet G., André L., Chocha Manda A., Marquet J. P. & Micha J. C., 2010. Evaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira (Katanga/RD Congo). *Tropicultura*, 28(4), 246-252.
- Majumdar, Deepanjan, Navindu & upta G., 2000. Nitrate pollution of groundwater and associated human health disorders, *Indian Journal of Environmental Health*, 42(1), 28-39.
- Mariotti A., 1998. Nitrate : un polluant de longue durée. *Pour la Sciences*, 60-64.
- Mohammad N. Al. & Jagath J. Kaluarachchi, 2004. Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground water in agriculture-dominated watersheds. *Journal of Hydrology*, 295(1-4), 225-245. (DOI 10.1016/j.jhydrol.2004.03.013).
- Mwanza P. B., Katond J. P. & Hanocq P., 2019. Evaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwoshi (RD Congo). *Tropicultura*, 37(2), 1-15, DOI: 10.25518/2295-8010.627
- OCDE., 2004. *Agriculture et environnement : enseignements tirés de dix ans (1993-2003) des travaux de l'OCDE*, pp. 5-10.
- Partow H., 2011. *Problématique de l'Eau en République Démocratique du Congo: Défis et Opportunités*. Rapport Technique, pp.1-94.
- Rahoui M., Soudi B. & Id Ahmad F., 2000. Situation actuelle de la pollution nitrique des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Doukkala. *Séminaire Intensification agricole et qualité des sols et des eaux. Rabat, Maroc, 2-3 Novembre 2000*, pp. 121-134.
- Rejsek F., 2002. *L'analyse de l'eau*. Dunod, 9^e édition, Paris, 1526 p.
- Rodier J., Legube N., Merlet N., Brunet N. & Coll., 2009. *L'analyse de l'eau*. Dunod, 9^e édition, Paris, 1526 p.
- Shima N.T., Monsengo R., Kongota I. E. & Misamu N. S., 2020. Caractérisation Physicochimique, Bactériologique et Faciès Hydrochimiques des Eaux des Sources Aménagées dans la Zone de Santé de Lukula, Province du Kongo-Centrale. *Congo Sciences*, 8(3), 154-160.