

Pollution des eaux souterraines par les nitrates : cas du sous bassin du Massili au Burkina Faso

Traoré Hortense¹, Segda Bila Gérard¹,
Dipama Jean-Marie²

Résumé

Le sous bassin du Massili est situé dans la zone centrale du Burkina Faso et s'étale sur une superficie de 4 525 km². Il connaît une démographie galopante et le développement des activités socioéconomiques, qui sont parfois source de pollution en nitrate des eaux souterraines. Cette étude se fixe pour objectif d'analyser par la chromatographie ionique, les nitrates dans 70 échantillons d'eau de forages et de puits, afin de contribuer à la caractérisation des eaux souterraines du sous bassin du Massili. Les résultats montrent que 10% des échantillons d'eau, ont des concentrations en nitrate au-dessus de la norme admise par l'OMS pour l'eau potable, qui est de 50 mg l⁻¹. Il s'agit de Wapassi Alaré (51,46 mg l⁻¹); Loumbila Bangrin F2 (57,48 mg l⁻¹); Bazoulé F1, (57,59 mg l⁻¹); KF1, (58,86 mg l⁻¹); Silmiougou F5, (86,11 mg l⁻¹); KB F2, (90,22 mg l⁻¹) et KBS2 P7, (98,88 mg l⁻¹). En outre, les eaux de 16% des ouvrages nécessitent un suivi au regard de leurs concentrations élevée en nitrate. La consommation de l'eau polluée en nitrate peut être à l'origine du développement de méthémoglobine particulièrement chez les nourrissons.

L'analyse en composante principale a montré que les activités anthropiques sont à l'origine de la pollution aux nitrates des échantillons d'eaux analysés.

Mots clés : Nitrates, Pollution, Eaux Souterraines, Contamination, Activités Anthropiques.

Groundwater pollution by nitrates: the case of Massili Sub-basin in Burkina Faso

Abstract

The Massili sub-basin is located in the central zone of Burkina Faso and covers an area of 4,525 km². It is experiencing rapid population growth and the development of socio-economic activities, which are sometimes a source of nitrate pollution of groundwater. The aim of this study was to use ion chromatography to analyse 70 water samples from wells and boreholes located in the Massili sub-basin.

¹ Laboratoire de physique et chimie de l'environnement, Université Joseph Ki-Zerbo, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

² Laboratoire Dynamique des Espaces et des Sociétés, Université Joseph Ki-Zerbo, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

*Auteur correspondant : Traoré Hortense, t_hortense75@yahoo.fr ; gsegda@gmail.com

The results showed that 10% of the water samples had nitrate concentrations above the WHO drinking water standard of 50 mg l⁻¹. These were Wapassi Alaré (51.46 mg l⁻¹); Loumbila Bangrin (F2 57.48 mg l⁻¹); Bazoulé F1, (57.59 mg l⁻¹); KF1, (58.86 mg l⁻¹); Silmiougou F5, (86.11 mg l⁻¹); KB F2, (90.22 mg l⁻¹) and KBS2 P7, (98.88 mg l⁻¹). In addition, the water from some facilities (16%) needs to be monitored for nitrate concentrations. Consumption of nitrate-polluted water may be the cause of the development of methemoglobin, particularly in infants. Principal component analysis showed that human activities are the cause of nitrate pollution in the water samples analysed.

Keywords: Nitrates, Pollution, Groundwater, Contamination, Anthropogenic Activities.

Introduction

Les activités agricoles occupent une importante partie de la population de l'Afrique (GUSTAFSON, 2018). L'utilisation des engrais biologiques et chimiques est une pratique courante, pour un bon rendement agricole. Il arrive que les dosages de ces intrants ne soient pas respectés soit par ignorance ou par négligence des agricultures et des maraichers. Les excès de fertilisants épandus sont drainés par le ruissèlement et l'infiltration des eaux de pluie et d'irrigation, pouvant entraîner la pollution des ressources en eaux. En effet, l'épandage des fertilisants azotés à proximité des puits et des forages, est source de pollution des nappes aux nitrates, particulièrement celles qui sont peu profondes (GUENDOUZ et al., 2003) (YAMEOGO, 2008) ; (DROUCHE et al., 2013) ; (KHELIEL et al., 2017). Les nitrates sont des ions très mobiles qui se retrouvent dans les eaux souterraines par le biais du lessivage et l'infiltration des intrants agricoles azotés (DROUCHE et al., 2013) ; (BOUCHEMAL & ACHOUR, 2015) ; (ABANYIE et al., 2023).

Outre l'agriculture, l'urbanisation est une autre source de pollution aux nitrates des eaux souterraines, à travers le rejet des eaux usées non épurées (BEKKOUSSA et al., 2011), les dépôts d'ordures, les latrines et fosses septiques traditionnelles mal dimensionnées par rapport aux points d'eau (YAMEOGO, 2008) ; (MALIK & SHIMI, 2019) ; (ABANYIE et al., 2023).

Au Burkina Faso, particulièrement dans le sous bassin du Massili, la problématique du mauvais usage des intrants agricoles et de l'assainissement, conduisant à la pollution des eaux souterraines reste

posée (YAMEOGO, 2008) ; (HOUMADI, 2015). Les modes de pratiques agricoles, l'extension des zones urbaines et le développement des activités socio-économiques exercent une pression sur les ressources en eau, affectant leur qualité (BAGRE, 2022). Cette étude se fixe pour objectif d'analyser les nitrates dans les échantillons d'eau de forages et de puits, afin de contribuer à la caractérisation des eaux souterraines du sous bassin du Massili. Plus spécifiquement, elle vise à analyser les nitrates dans les échantillons d'eau par la chromatographie ionique, à déterminer leur composition minéralogique majeure avec le diagramme du Piper, et à identifier l'origine de la minéralisation des eaux par les nitrates en utilisant l'Analyse en Composante Principale (ACP).

I. Matériels et méthodes

I.1. Zone d'étude

Le sous bassin du Massili est situé dans la zone centrale du Burkina Faso. Il a une morphologie très allongée avec un contour de 294,873 km ; il est caractérisé par un coefficient de compacité de 1,15, une pente de 1‰, un indice de drainage de 0,289 et un coefficient de perméabilité qui varie entre 4 et 5 (MEA/AEN, 2013). Le sous bassin du Massili compte 22 communes dont 4 communes urbaines et 18 communes rurales. Sa superficie de 4 525 km², couvre les régions du Centre Ouest, du Centre, du Centre Sud et du Plateau Central. La zone d'étude connaît une démographie galopante, particulièrement celle de Ouagadougou la capitale du pays, qui comptait 2.684.052 habitants contre 3.846.149 habitants pour l'ensemble du sous bassin en 2020 (INSD, 2022). L'agriculture et le maraichage occupent une bonne partie de la population qui utilise en plus des eaux de surface, des puits et des forages pour leurs activités génératrices de revenus. La figure 1 présente le découpage communal de la zone d'étude.

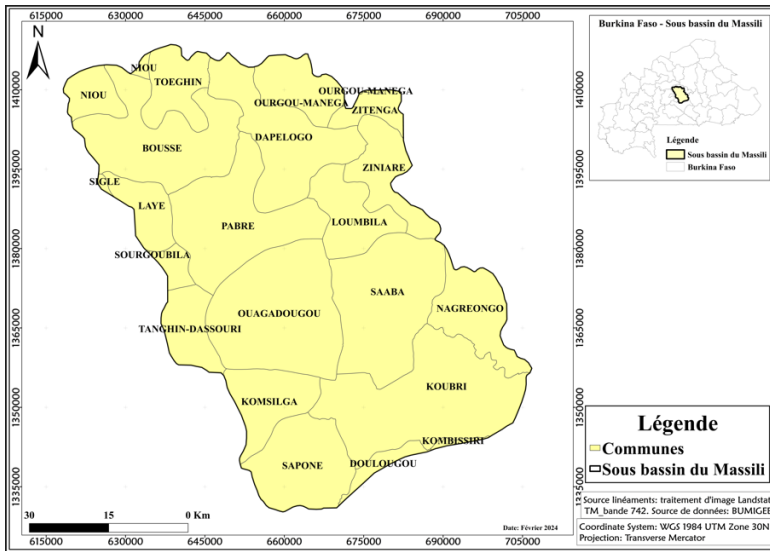


Figure 1: Carte du découpage communal du sous bassin du Massili

I.2. Matériels

Le matériel utilisé dans le cadre de la présente étude comprend le matériel de terrain et celui du laboratoire.

L'échantillonnage d'eau a nécessité un véhicule, des glaciaires, des bouteilles en polyéthylène, une puisette, des GPS, des fournitures de bureau, un multi paramètre de marque Hanna pour les mesures in situ, des puits et des forages.

L'appareil utilisé est le chromatographe ECO IC METHROHM, branché à un ordinateur pour la lecture des résultats. Le chromatographe est calibré à l'aide des solutions standards Merck, Sigma-Aldrich et VWR. Les éluants sont préparés avec de l'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3), du carbonate de sodium (Na_2CO_3), l'acide nitrique (HNO_3) et le ADP. A ces réactifs s'ajoutent l'eau distillée, le filtre $0,45\mu\text{m}$ et la verrerie.

I.3. Méthodes

I.3.1. Choix des points d'échantillonnage et prélèvement

Les points d'échantillonnage ont été choisis après une étude du milieu socio-économique. Cette étude a permis d'identifier les zones à risque de pollution des eaux souterraines par les nitrates. Ce sont les espaces agricoles et maraichers, et les systèmes d'assainissement des

habitations. Les puits et les forages échantillonnés sont situés à proximité de ces espaces.

Des bouteilles neuves en polyéthylène de 1 litre ont été bien nettoyées avec l'eau des ouvrages échantillonnés et remplies à ras bord sans bulles. L'eau des forages a été prélevée après un pompage d'au moins 20 litres afin de vider la tuyauterie et recueillir l'eau de la nappe. Quant à l'échantillonnage des eaux de puits, une puisette est descendue à l'aide d'une corde ; une fois remplie, elle est plongée à plusieurs reprises, afin d'avoir un échantillon assez homogène avant le prélèvement.

Au total, 70 échantillons d'eau ont été prélevés à travers tout le sous bassin dans la période de juin à juillet 2022. Ils ont été placés dans des glaciaires et transportés le même jour au laboratoire pour les analyses.

1.3.2. Protocole de détection des nitrates

L'analyse des nitrates ainsi que des autres ions a été réalisée en même temps par chromatographie ionique. C'est une méthode d'analyse physico-chimique automatisée dont les références sont respectivement NF EN ISO 14911 et NF EN ISO 10304-1 pour l'identification des cations et des anions. L'appareil utilisé est le chromatographe ECO IC METHROHM. La détermination des ions nécessite la calibration du chromatographe à l'aide des solutions standards Merck pour les anions, et Sigma-Aldrich et VWR pour les cations, de concentration 1000 mg l⁻¹. La phase mobile constituée de l'éluant, circule constamment dans le circuit pour stabiliser le système 30 mn avant le passage des échantillons. L'éluant des anions est préparé avec le NaHCO₃ et le Na₂CO₃, et ceux des cations avec HNO₃ et ADP, tel qu'indiqué dans le tableau 1.

Tableau I : Préparation des éluants

Types d'éluants	Concentrations
Eluants anions NaHCO ₃ (Sigma-Aldrich)	2mM à diluer 10 fois (1 vol. concentré + 9 vol. d'eau) avant utilisation
Eluants anions Na ₂ CO ₃ (VWR)	50mM à diluer 10 fois (1 vol. concentré + 9 vol. d'eau) avant utilisation
Eluants cations HNO ₃ (VWR)	1M 67-69%
Eluants cations ADP Dipicolinic acid (Sigma-Aldrich)	0,02M

I.3.3. Traitement et interprétation des données

Les données obtenues ont été traitées avec le logiciel Diagramme pour déterminer la qualité des eaux analysées. Excel et XLStat ont permis de tracer les graphiques, de déterminer les origines des minéralisations en utilisant l'ACP normées de type corrélation.

II.1. Identité des échantillons d'eau contaminés au nitrate

Nous avons effectué des analyses des nitrates dans 70 échantillons d'eau souterraines à travers le sous bassin du Massili. Les résultats sont présentés dans le tableau I.

Les résultats montrent que 7/70 échantillons d'eau, soit 10%, ont des concentrations en nitrate supérieures à 50 mg^l⁻¹, qui est la norme recommandée par l'OMS pour l'eau potable. Il s'agit de : de Wapassi Alaré (51,46 mg^l⁻¹) ; Loumbila Bangrin F2 (57,48 mg^l⁻¹) ; Bazoulé F1, (57,59 mg^l⁻¹) ; KF1, (58,86 mg^l⁻¹) ; Silmiougou F5, (86,11 mg^l⁻¹) ; KB F2, (90,22 mg^l⁻¹) et KBS2 P7, (98,88 mg^l⁻¹)

En outre, les eaux de Goupana F2 (33,70 mg^l⁻¹), KB F1 (30,94 mg^l⁻¹), Kélégué Sagulé F2 (34,96 mg^l⁻¹), KF11 (39,60 mg^l⁻¹), Kouï (31,51 mg^l⁻¹), Vonoga (30,63 mg^l⁻¹), Gorpila F1 (28,51 mg^l⁻¹), Kaoghin (27,49 mg^l⁻¹), KBS2 P1 (29,10 mg^l⁻¹), KF4 (25,98 mg^l⁻¹) et Silmiougou F3 (28,51 mg^l⁻¹) nécessitent un suivi au regard de leurs concentrations en nitrate. En effet, ces eaux qui représentent 16% des échantillons ont une concentration en nitrate certes inférieure à la norme admise par l'OMS pour l'eau potable (50 mg^l⁻¹), mais leurs ouvrages sont à proximité des zones à risque de pollution en nitrate.

Les autres échantillons d'eau, (environ 74%), ont une concentration en nitrate inférieure 20 mg^l⁻¹. Cependant, il est recommandé un suivi régulier de leur qualité et la protection de leur zone de servitude.

La figure 2 montre la localisation des échantillons d'eau analysés en fonction de leur concentration que nous avons repartie en 3 classes en fonction des risques pour la santé humaine :

- (i) Concentration en nitrate $\geq 50 \text{ mg l}^{-1}$, non conforme pour l'eau potable (WHO, 2011)

Tableau II : Concentration en nitrate des échantillons d'eau analysés

N°	Village/site	No3	N°	Village/site	No3
1	Balougin	4,42	36	Koala-zitou	11,21
2	Bana bento	0,00	37	Komkaga	21,06
3	Bass yam	7,36	38	Koui	31,51
4	Bassinko f1	21,03	39	Kouri	11,60
5	Bazoule f1	57,59	40	Laye f1	20,54
6	Bonoga	0,00	41	Laye f2	9,65
7	Bousse boulala	7,15	42	Lipa	11,62
8	Dabassgmisga	5,33	43	Loumbila bangrin f1	13,36
9	Dapelgo f1	8,10	44	Loumbila bangrin f2	57,48
10	Dawiligin	0,64	45	Moetenga	1,21
11	Didri	7,54	46	Niou tamse f2	0,00
12	Dignanema	2,03	47	Pabre saint joseph f2	9,82
13	Doulougou lamzodo f1	23,64	48	Raag noore	3,30
14	Doulougou tangzougou f2	22,26	49	Ritigue koudogo	0,60
15	Gaskay	8,04	50	Saaba p10	0,00
16	Goala	5,84	51	Saaba p3	1,47
17	Gorpila f1	28,51	52	Saaba p6	2,96
18	Goudrin	11,58	53	Saaba p8	3,46
19	Goulmiougou	25,11	54	Silmiougou f3	28,51
20	Goupana 1	21,20	55	Silmiougou f5	86,11
21	Goupana 2	33,70	56	Soetenga	7,84
22	Guesna	9,66	57	Sogoloji	2,25
23	Guie	9,72	58	Sourgoubila f1	7,61
24	Kaoghin	27,49	59	Tamassa	3,64
25	Kb f1	30,94	60	Tanghin dapelgo	0,91
26	Kb f2	90,22	61	Tangpore	4,67
27	Kbs2 p1	29,10	62	Tansabtenga f1	4,50
28	Kbs2 p7	98,88	63	Tanvi	0,44
29	Kelegue sagule f1	19,27	64	Toeghin f1	0,00
30	Kelegue sagule f2	34,96	65	Voaga	14,05
31	Kf1	58,86	66	Vouoga	30,63
32	Kf10	9,37	67	Wapassi alare	51,46
33	Kf11	39,60	68	Watinoma	19,66
34	Kf4	25,98	69	Zagtouli	14,00
35	Koala f1	6,31	70	Ziniare f1	7,83

- (ii) Concentration en nitrate de 20 mg l^{-1} dans l'eau de boisson, présente 2,5% de risque de développement de méthémoglobine chez les nourrissons (PHANEUF, 2007)
- (iii) Concentration en nitrate $< 20 \text{ mg l}^{-1}$ dans l'eau de boisson, présente un risque presque nul de développement de méthémoglobine chez le nourrisson (PHANEUF, 2007).

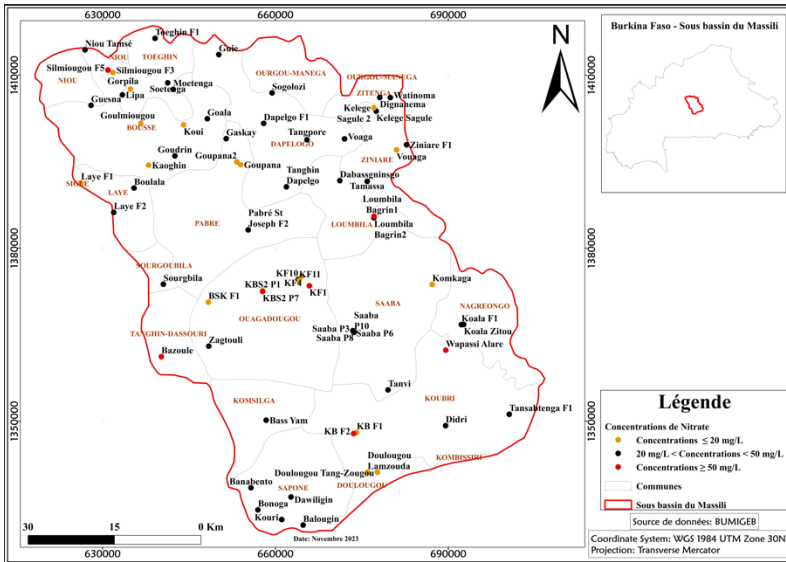


Figure 2 : Classes de concentrations en nitrate des échantillons d'eau prélevés.

Nous avons déterminé l'identité des 7 échantillons d'eau pollués par les nitrates. Les identités des échantillons contaminés au nitrate sont présentées dans la figure 3.

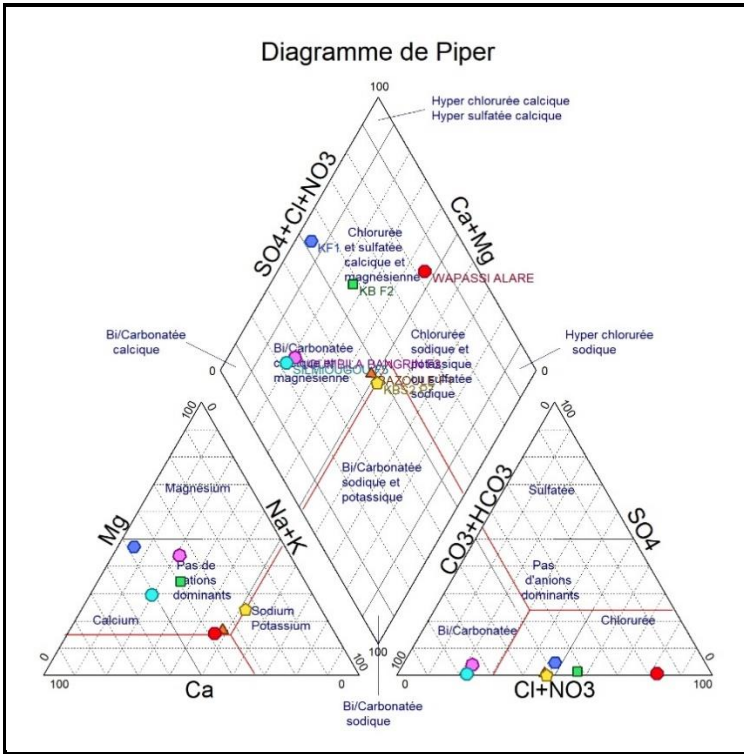


Figure 3 : Diagramme de Piper des 7 échantillons à forte concentration en nitrate.

Les résultats montrent que Loumbila Bangrin F2, Bazoulé F1 et Silmiougou F5 ont des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, tandis que celles de KB F2 et Wapassi Alaré sont chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes. Quant à KBS₂ P7 et à KF1, leurs échantillons d'eau sont respectivement bicarbonaté sodique et potassique, et chloruré sulfaté calcique et magnésien.

II.2. Identification de l'origine de la minéralisation en nitrate

Pour identifier l'origine des fortes concentrations en nitrate, l'ACP type corrélation a été appliquée sur les ions majeurs des 70 échantillons. Les facteurs sont construits à partir des données des analyses des ions majeurs qui sont le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le bicarbonate, le nitrate, le sulfate et le chlore. Ces ions contribuent à la construction des informations affichées dans les tableaux et les figures. Les facteurs F1 et F2 représentent 68,332% de l'information. Les

statistiques descriptives des analyses sont présentées dans le tableau II, qui donne les résultats en fonction des facteurs F1 et F2.

Tableau III: Statistiques descriptives

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca	70	0	70	7,660	86,040	25,731	14,522
Mg	70	0	70	1,500	40,394	13,007	7,775
Na	70	0	70	2,597	52,980	18,066	9,553
K	70	0	70	0,010	24,443	4,595	3,394
HCO ₃	70	0	70	15,000	372,100	155,686	77,900
Cl	70	0	70	0,000	59,590	7,076	13,208
SO ₄	70	0	70	0,000	81,844	7,304	11,873
NO ₃	70	0	70	0,000	98,876	18,377	21,402

Le tableau II montre que la concentration maximale en nitrate dans les échantillons d'eau est de 98, 876 mg l⁻¹, tandis que la concentration minimale est de 0 mg l⁻¹, pour une moyenne de 18,377 mg l⁻¹. L'écart type 21,402 mg l⁻¹, indique qu'il n'y a pas une grande dispersion des données autour de la moyenne. La matrice de corrélation permet d'identifier les ions qui sont liés par leur origine. Ces ions évoluent ensemble soit positivement ou négativement dans le temps. La matrice de corrélation est présentée dans le tableau III.

La matrice de corrélation indique qu'il y a une forte corrélation entre les ions de calcium Ca²⁺, de magnésium Mg²⁺ et de bicarbonates HCO₃³⁻; et dans une moindre mesure avec le sodium Na⁺. Ces données montrent que ces ions sont liés et évoluent positivement ensemble.

Par contre, les ions de nitrate NO₃⁻ ont une corrélation positive très moyenne avec les ions de chlore Cl⁻ et de sodium Na⁺. Pour s'assurer des liens entre les nitrates et les autres ions, nous avons analysé le tableau des variables qui est présenté dans le tableau IV.

Tableau III : Matrice de corrélation Pearson (n)

Variables	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃
Ca	1							
Mg	0,796	1						
Na	0,587	0,404	1					
K	0,024	-0,051	0,509	1				
HCO ₃	0,877	0,839	0,598	0,064	1			
Cl	0,137	-0,007	0,639	0,594	0,028	1		
SO ₄	0,243	0,177	0,233	0,122	0,108	0,194	1	
NO ₃	0,383	0,331	0,405	0,288	0,136	0,447	0,003	1

Tableau IV : Contributions des variables (%)

	F1	F2	F3	F4	F5
Ca	21,752	7,330	0,003	0,361	0,589
Mg	17,045	13,234	0,356	1,125	5,396
Na	20,147	5,139	0,112	7,342	12,194
K	4,020	27,588	0,044	14,101	51,588
HCO ₃	19,315	11,157	0,021	11,860	0,042
Cl	6,544	30,023	0,006	0,068	25,466
SO ₄	2,718	0,362	78,394	15,029	1,267
NO ₃	8,459	5,167	21,064	50,116	3,458

Les nitrates contribuent très peu à la construction des facteurs F1 et F2. Ils sont plus représentés dans le facteur F4 comme l'indique le tableau IV.

La courbe de corrélation a été construite avec le facteur F1 (axe des abscisses) qui présente mieux les ions majeurs (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ et HCO₃⁻), et le facteur F4 (axe des ordonnées) qui représente fortement les nitrates. Cela est bien indiqué par la longueur des segments de chaque ion sur la courbe de corrélation. En effet, plus le segment est long, plus le résultat reflète la contribution de l'ion à la construction de l'information sur la courbe. Les facteurs F1 et F4 contribuent à la construction de 52,90% de l'information de la figure 4.

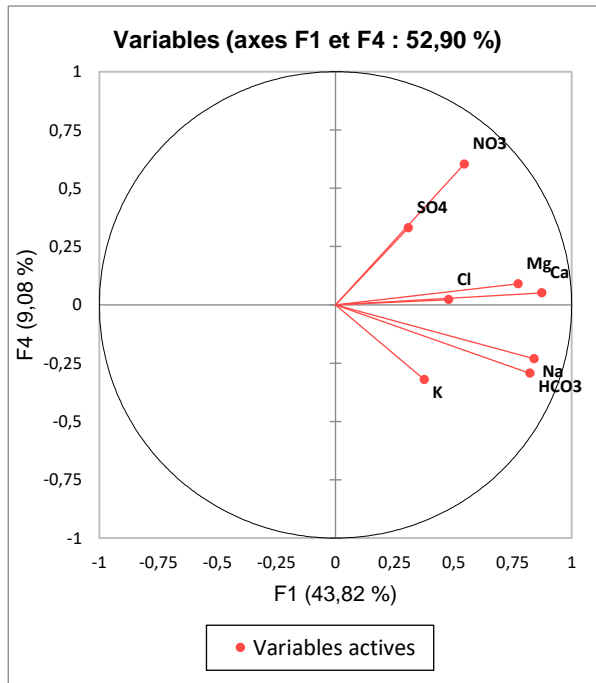


Figure 4 : Courbe de corrélation des ions majeurs des échantillons d'eau

L'ACP nous permet de mettre en évidence les origines de la minéralisation des échantillons d'eau analysés. Les ions de bicarbonates (HCO_3^-), calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et sodium (Na^+) sont bien corrélés avec le facteur F1, qui est l'origine principale de la minéralisation. Il s'agit des formations géologiques des aquifères, qui influencent la minéralisation de l'eau par les phénomènes d'hydrolyse et de dissolution. Le temps de séjour de l'eau dans la roche (contact eau roche) est un facteur important de ces réactions chimiques. Quant aux ions de sulfate SO_4^{2-} , de chlore Cl^- , et de potassium K^+ , les longueurs de leurs segments montrent qu'ils contribuent moins à la construction des informations sur la courbe de corrélation. Cependant, le chlore est corrélé avec le facteur F1, contrairement au sulfate et au potassium qui sont plus proche du facteur F4 (axe des ordonnées). Le segment des nitrates NO_3^- est corrélé positivement avec le facteur F4. Il a une origine secondaire de même que le sulfate et le potassium. Cette source est attribuable aux activités anthropiques à proximité des infrastructures. En effet, Wapassi Alaré, Loumbila Bangrin F2, Bazoulé F1, Silmiougou F5, KB F2 et KBS2 P7 sont implantés à proximité des périmètres agricoles ou maraichers où sont utilisés des engrais tels que

le NPK et le fumier organique. Ces intrants agricoles sont riches en azote, phosphate, et potassium. La présence du nitrate et du potassium pourraient se justifier par leur origine anthropique, avec les apports en engrais dans le sol, dont une partie serait drainée vers les eaux souterraines par infiltration.

Les concentrations élevées en nitrate dans les échantillons d'eau sont forts probablement dues aux réactions d'oxydation de l'azote des intrants agricoles.

Cette hypothèse est corroborée par (HOUMADI, 2015) qui a mis en évidence la pollution des eaux de puits maraichers par les nitrates, atteignant jusqu'à $391,16 \text{ mg l}^{-1}$ dans le quartier Tanghin à Ouagadougou, dans la zone d'étude. (AMADOU et al., 2014), ont montré à partir de leur étude sur les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabéry, que les eaux souterraines des aquifères de socles de la zone étaient contaminées en nitrates d'origine anthropique. En côte d'Ivoire, des concentrations en nitrate de $88,7 \text{ mg l}^{-1}$ ont été détectées dans les eaux souterraines de Krindjabo. Ces taux sont attribuables à une pollution d'origine anthropique qui a atteint la nappe par infiltration (EBLIN et al., 2014). En outre, des taux de pollution importants en nitrate, provenant probablement de l'utilisation des engrais dans les activités agricoles ont été relevés dans les eaux souterraines dans la région d'El Ghrous en Algérie (DROUCHE et al., 2013) ; ces concentrations sont comprises entre 50 mg l^{-1} à 180 mg l^{-1} (KHELIEL et al., 2017).

Quant à KF1, il est situé à proximité de l'abattoir et à moins de 30m d'un canal, drainant les eaux usées dans la zone industrielle de Kossodo à Ouagadougou. Ces eaux usées pourraient être à l'origine de la contamination en nitrate des eaux du forage. Dans le même ordre d'idée, (YAMEOGO, 2008) a identifié des forages des nappes de fissures à Ouagadougou, ayant des teneurs en nitrate de 52 mg l^{-1} attribuables à l'infiltration des effluents des zones maraichères ou agricoles, ou des eaux usées de déchèteries ou de latrines. En outre, des teneurs en nitrate des eaux souterraines pouvant atteindre 278 mg l^{-1} , ont été notées à proximité des stations d'épuration, des zones agricoles et des fosses septiques Gafsa en Tunisie (MALIK & SHIMI, 2019).

La consommation d'eau polluée par les nitrates peut être dangereuse pour la santé humaine. En effet, la transformation des nitrates en nitrites dans l'estomac par le biais du métabolisme, peut être à l'origine de

méthémoglobine particulièrement chez les nourrissons(LEVALLOIS & PHANEUF, 1994).

Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'analyser les nitrates dans les échantillons d'eau de forages et de puits, afin de contribuer à la caractérisation des eaux souterraines du sous bassin du Massili.

L'analyse de 70 échantillons d'eau par la méthode de la chromatographie ionique nous a permis de montrer que 10% desdits échantillons d'eau analysés de la zone d'étude ont une teneur en nitrate dépassant la norme admise par l'OMS pour l'eau potable. En outre, 16% des ouvrages doivent être suivi du fait de leur concentration assez importante en nitrate, même si celles-ci sont en dessous de la norme de l'OMS. Les échantillons qui ont une teneur en nitrate élevée, sont des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes, des eaux bicarbonatées sodiques et potassiques, et des eaux chlorurées sulfatées calciques et magnésiennes.

L'Analyse en Composante Principale a permis d'identifier la corrélation entre les différents minéraux des eaux. L'origine de la minéralisation en nitrate des échantillons d'eau proviendrait des activités anthropiques. La consommation des eaux polluées en nitrate peut être dangereuse pour la santé humaine. Il est donc recommandé, de suivre la qualité de l'eau des ouvrages du sous bassin du Massili, au regard du risque de leur contamination aux nitrates, par les activités menées dans la zone.

Références bibliographiques

ABANYIE, S. K., APEA, O. B., ABAGALE, S. A., AMUAH, E. E. Y., & SUNKARI, E. D. (2023). Sources and factors influencing groundwater quality and associated health implications : A review. *Elsevier B.V.* <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AMADOU, H., LAOUALI, M. S., & MANZOLA, A. (2014). Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabery : Application des méthodes d'analyses statistiques multi variées. *Larhyss Journal*, 25-41.

BAGRE, M. P. (2022). *Impacts des pressions anthropiques sur les ressources en eau du bassin du Massili a Gonsé. 1.*

BEKKOUSSA, B., MEDDI, M., & KHALDI, A. (2011). Simulation du transport des nitrates dans les eaux de l'aquifère plio-quadernaire de la plaine de ghriss (nord-ouest algérien). *Revue scientifique et Technique ; LJEE N°18*, 18-26.

BOUCHEMAL, F., & ACHOUR, S. (2015). Qualité physico-chimique et paramètres de pollution des eaux souterraines de la région de Biskra. *Larhyss Journal*, 197-212.

DROUCHE, A. M., CHAIB, W., REZEG, A., BOUGHERIRA, N., HAMZAOU, W., & DJABRI, L. (2013). Risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates en régions arides : Cas d'Elghrous (région des Ziban-Sud-Est Algérien). *Journal Algérien des Régions Arides*, (65-75).

EBLIN, S. G., SORO, G. M., SOMBO, A. P., AKA, N., KAMBIRÉ, O., & SORO, N. (2014). Hydrochimie des eaux souterraines de la région d'adiaké (sud-est côtier de la côte d'ivoire). *Larhyss Journal*, 193-214.

GUENDOUZ, A., MOULLA, A., EDMUNDS, W. M., & SHAND, P. (2003). Hydrochemical and isotopic evolution in the Algerian Sahara. *Hydrogeology J.*, Vol.11, 483-495.

GUSTAFSON, S. S. G. (2018, septembre 14). *Rapport de l'état de l'agriculture en Afrique | Food Security Portal.* <https://ssa.foodsecurityportal.org/fr/blog/rapport-de-letat-de-lagriculture-en-afrique>

HOUMADI, M. A. (2015). *Analyse piézométrique et modélisation des signaux hydrologiques et gravimétriques dans les aquifères du socle en région soudano—Sahélienne : Cas de Ouagadougou.* Ecole Doctorale Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement (SIBAGHE) et de l'Unité Mixte de Recherche Hydrosciences Montpellier.

INSD. (2022). *Cinquième Recensement Général de la Population et de l'Habitation du Burkina Faso Synthèse des résultats définitifs (5ème RGPH; p. 136p).* MEFP.

KHELIEL, O., YUCEF, L., & ACHOUR, S. (2017). Les nitrates dans les eaux souterraines de la région d'El-Ghrous (Biskra) et possibilités de traitement. *Larhyss Journal*, 349-360.

LEVALLOIS, P., & PHANEUF, D. (1994). La contamination de l'eau potable par les nitrates : Analyse des risques à la santé. *Canadian Journal of Public Health / Revue Canadienne de Sante'e Publique*, 85(3), 192-196.

MALIK, N., & SHIMI, N. S. (2019). Etude de la vulnérabilité des eaux souterraines de la ville de Gafsa (Sud- Ouest de la Tunisie) : Effets anthropiques et conséquences. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*.

MEA/AEN. (2013). *Les bassins hydrographiques et les Agences de l'Eau du Burkina Faso | Projet Hydromet – Renforcement de la résilience climatique au Burkina Faso*. <https://hydromet.bf/les-bassins-hydrographiques-et-les-agences-de-leau-du-burkina-faso/>

PHANEUF, D. (2007). *Nitrates, eau potable et santé de l'enfant | INSPQ*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/bise/nitrates-eau-potable-et-sante-de-l-enfant>

WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle*, 38(4), 104-108.

YAMEOGO, S. (2008). *Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso qualité et vulnérabilité*. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.