



Etude diagnostique de la contamination par les nitrates des eaux souterraines de la plaine de djermaya, province de hadjer lamis au Tchad

Epolyte Adjeffa¹, Ayambi Goutima², Abdel-Aziz³, Adoudou Mahamat³

¹ Faculté des Sciences Exactes et Appliquées de Farcha, Université de N'Djamena, BP : 1027 N'Djamena, Tchad

² Département des Sciences de l'éducation, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena,

³ Faculté des Sciences Exactes et Appliquées de Farcha, Université de N'Djamena, BP : 1027 N'Djamena, Tchad

Résumé

Un regard sur l'état de contamination par les nitrates des eaux souterraines de la plaine de Djermaya, Province de Hadjer Lamis au Tchad a été effectué en 2020. Trois méthodes ont été retenues (i) le diagnostic physique du terrain (ii) la mesure de la piézométrie des points d'eau (iii) l'analyse physico-chimique des eaux des ouvrages hydrauliques locaux. Les résultats montrent que 20% des ouvrages hydrauliques échantillonnés ont des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg / l, ce qui représente la limite de la norme nationale. L'étude des origines des ions nitrate présente un comportement hydro-chimique différent des autres éléments. Cela présage qu'ils proviennent probablement des activités humaines puisque la plaine de Djermaya est un sanctuaire d'activités agro-pastorales caractérisées par une utilisation inappropriée de produits chimiques en plus des rejets de l'industrie locale. Les mesures piézométriques ont permis de déterminer le sens de l'écoulement des eaux souterraines qui converge vers Djinéné à l'Est.

Mots clés : Eau Souterraine, Contamination, Nitrate, Plaine De Djermaya, Piézométrie, Tchad.

Diagnostic study of nitrate contamination of groundwater in the djermaya plain, hadjer lamis province in Chad

Abstract

A look at the state of nitrate contamination of groundwater in the Djermaya plain, Hadjer Lamis Province in Chad was carried out in 2020. Three methods were retained (i) the physical diagnosis of the land (ii) the measurement of the piezometry of the water points (iii) the physico-chemical analysis of the water from the local hydraulic structures. The results show that 20% of the sampled hydraulic structures having levels of nitrates above 50 mg / l which represents the limit of the national standard. The study of the origins of nitrate ions present hydro-chemical behavior differs with other elements. This presages that they probably come from human activities since the plain Djermaya is a sanctuary of agro-pastoral activities characterized by inappropriate use of chemicals in addition to discharges from local industry. The piezometric measurements made it possible to determine the direction of the groundwater flow which converges towards Djinéné in the east.

Key words: Groundwater, Contamination, Nitrate, Piezometry, Djermaya Plain, Chad

¹ Corresponding author: epolyte@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'eau douce qui ne représente que 2.5% du volume total de l'eau de la planète devient de plus en plus une préoccupation dans beaucoup de régions du monde, notamment en Afrique subsaharienne à cause des pressions diverses qu'elle subit (Paquerot, 2005; Baron, 2009). Cette pression sur les ressources en eau douce va encore augmenter avec la forte croissance démographique, la nécessaire croissance de la production agroalimentaire, le développement industriel (Baron, 2009).

L'accroissement accéléré de la contamination des systèmes aquifères au cours des dernières années ainsi que la modification progressive de la nature des pollutions qui deviennent de plus en plus chimiques et toxiques à court ou long terme, ont contribué à faire de la détermination de la qualité chimique des eaux l'un des principaux soucis de la recherche hydro-écologique (Atanosova.E., 2008). Parmi les polluants organiques, le nitrate, constitue le principal facteur. Il se trouve essentiellement dans les engrais et constitue la source majeure de matières azotées des plantes. Les deux tiers de la pollution par le nitrate sont causés par les cultures et l'élevage intensif. Les agriculteurs utilisent de plus en plus d'engrais car les productions agricoles en nécessitent des quantités importantes (jusqu'à 500 kg/ha) pour un meilleur rendement. Si on met trop d'engrais, la plante ne peut tout absorber et le nitrate s'infiltre donc dans le sol et finit par polluer les nappes phréatiques puis les rivières. L'inconvénient immédiat de cette pollution est de favoriser l'apparition de mauvais goût de l'eau qui pourra être exacerbé par la chloration, et de faciliter le développement des germes, algues et champignons (CHantigny.M.H., 2007). C'est dans cette perspective que notre étude qui est une investigation sur la plaine de Djermaya où s'articulent allègrement les activités agropastorale et industrielle, s'inscrit.

L'objectif global est de déterminer le degré de contamination aux nitrates des eaux souterraines de la plaine de Djermaya. Plus spécifiquement il s'agit de:

1. Faire des analyses physico-chimiques pour déterminer le degré de concentration du nitrate dans les eaux des nappes et identifier son origine ;
2. Faire la piézométrie pour déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines et faire le lien avec le comportement hydro-chimique des ions en solution.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le matériel dans l'encadré 1 est celui ayant servi à l'étude.



1. Un GPS (Global Positioning System) de marque Garmin qui Encadré N°1 : le matériel d'étude
2. Global position system (GPS) relève les coordonnées géographiques des points
3. Une sonde piézométrique de 100m pour mesurer les niveaux piézométriques.
4. Les flacons d'échantillonnages en polyéthylène : de 500 ml
5. Un multimètre de terrain WTW, pour des in situ des paramètres physique.
6. Spectrophotomètre DR800.

Localisation du site d'étude : La zone d'étude qu'est la plaine de Djermaya est située dans le département de Haraz-al-biyaar, province de Hadjer-Lamis, entre le 12,06° et le 13,20° de latitude Nord et le 14,50° et le 15,90° longitude Est. L'accès à la plaine est assuré par la route bitumée reliant la ville de Ndjaména et celle de Massaguette sur un parcours de 90km. La figure N°1 montre respectivement la localisation de la province et de la plaine de Djermaya. Dominée par un climat sahélien, la zone d'étude est densément peuplée et compte 562 957 habitants selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2009. La plaine de Djermaya est un sanctuaire d'activités socioéconomiques basées sur l'agriculture, l'élevage, la pêche et le commerce. C'est à la fois une zone industrielle où est installée une raffinerie depuis dix ans, qui œuvre dans la transformation des produits pétroliers.

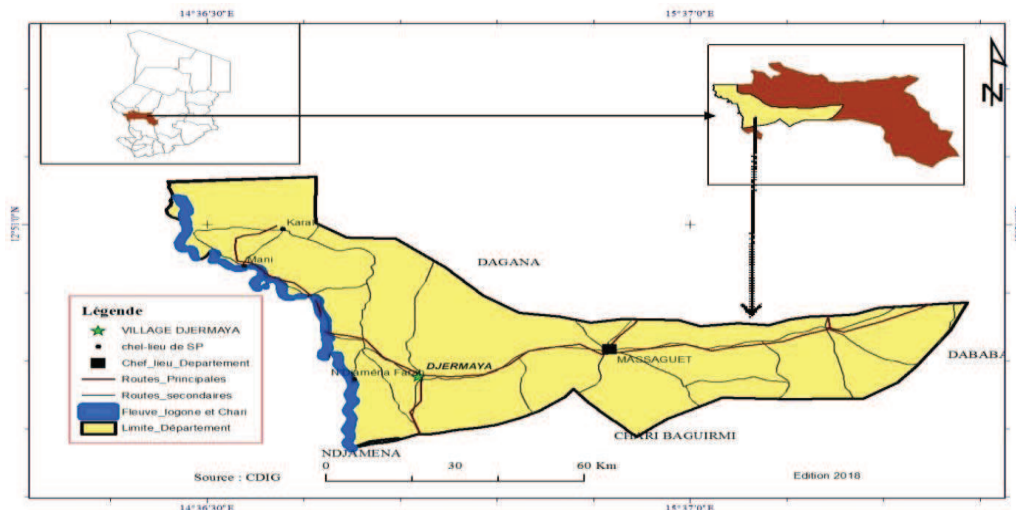


Figure 1 - Carte de localisation de la plaine de Djermaya

Méthodes

Trois méthodes ont été retenues : le diagnostic physique du terrain, piézométrie et les analyses physico-chimiques des eaux de la plaine de djermaya.

Diagnostic physique de la zone d'étude

Le travail a consisté à faire des constats de terrain assortis des prises de vues et des échanges avec des populations locales.

Piézométrie

La piézométrie désigne l'ensemble de mesures des niveaux piézométriques : niveau statique, niveau dynamique des ouvrages hydrauliques, puits et forages de la zone. Le procédé a utilisé une sonde piézométrique pour effectuer les différentes mesures. La campagne a duré 5 jours et a touché 14 forages et 1 puits dont les coordonnées ont été levées et leur positionnement sur la carte de la zone d'étude a été réalisé comme illustré sur la figure N°2. Ces ouvrages ont été choisis au regard de la densité des activités agropastorales et industrielles autour de ceux-ci. Une collecte des fiches techniques de quelques ouvrages hydrauliques a été effectuée auprès de la délégation provinciale de l'hydraulique. Elle permet de visualiser les paramètres hydrodynamiques de ces ouvrages (niveau statique, profondeur totale, débit d'essai). Le niveau piézométrique est obtenu en effectuant la différence entre l'altitude du point par rapport au niveau de la mer, obtenue par GPS et le niveau statique de l'eau dans l'ouvrage.

Le Niveau piézométrique = Altitude – Niveau statique.

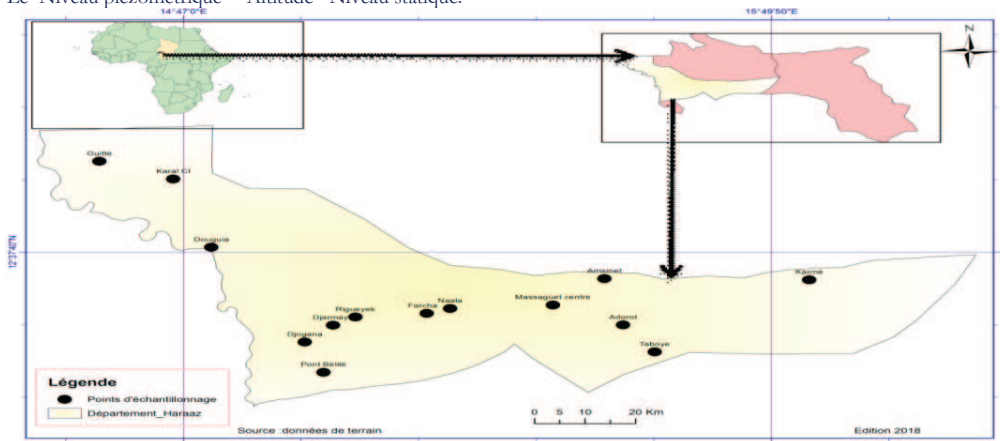


Figure 2 - Carte de localisation des forages et des puits échantillonnés

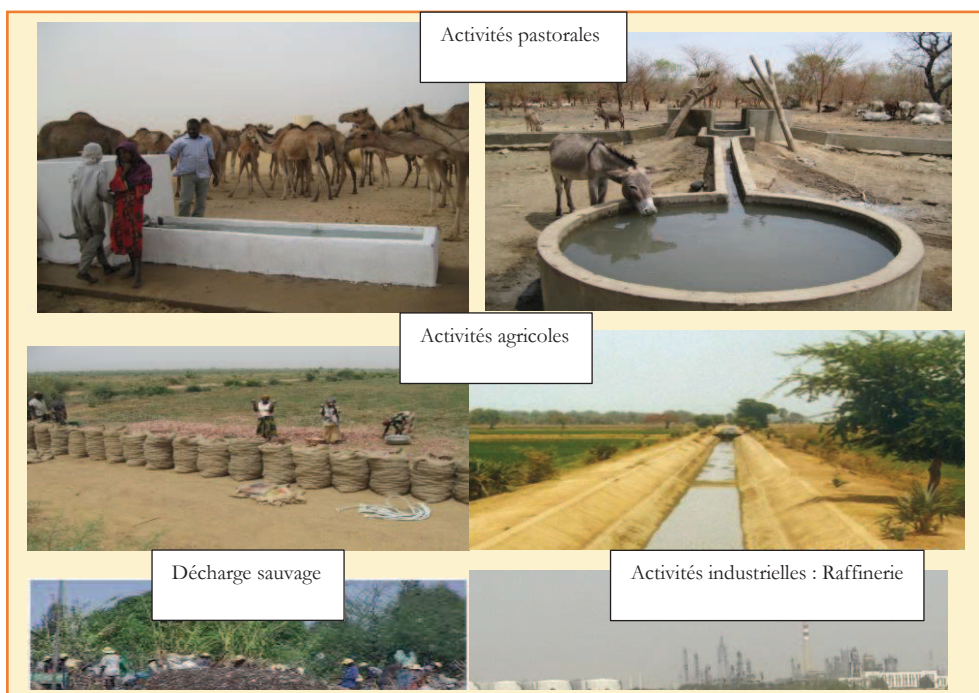
Analyse au Laboratoire : Quinze (15) échantillons d'eau ont été prélevés à raison d'un échantillon par ouvrage. La répartition spatiale des points d'échantillonnage est représentée dans la figure N° 2. Certains paramètres tels que le potentiel d'hydrogène (pH), la Température, la conductivité électrique ont été mesurés in situ. Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière et acheminés le même jour du prélèvement au Laboratoire Nationale des Eaux (LNE) pour analyse. Les paramètres chimiques recherchés par l'analyse sont d'une part, les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et HCO_3^- dosés suivant la méthode volumétrique et d'autre part, les ions Na^+ et K^+ qui sont déterminés par la méthode spectrométrique utilisant le spectrophotomètre à flamme. Enfin les éléments tels que le Fer total, les ions SO_4^{2-} , NH_4^+ et NO_3^- sont déterminés par le spectrophotomètre DR2800. L'intérêt d'analyser et de déterminer la concentration de ces éléments est non seulement de se prononcer sur le risque de contamination au nitrate mais aussi d'établir une corrélation entre ces éléments afin de montrer l'origine de la contamination.

Analyse des données : L'analyse des données et l'établissement des cartes notamment, la carte de vulnérabilité ont été possibles au moyen des logiciels de traitement multicritères : Arc-Gis, QGIS, Surfer et xlstat. Le logiciel Diagramme a servi à la détermination des faciès chimiques des eaux.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Résultats de Diagnostic physique du terrain

Du constat du terrain, il ressort que la plaine de Djermaya est dotée d'une raffinerie qui traite d'importants produits pétroliers susceptibles de pollution par les nitrates entre autres. Une décharge accueille chaque jour plus de 300 tonnes des déchets solides en provenance de N'Djamena. Cette décharge produirait sûrement des lixiviations qui peuvent vraisemblablement s'infiltrer dans le sol et atteindre la nappe vu qu'elle ne dispose pas un système d'évacuation et de traitement de ces liquides. De plus, les activités pastorales et agricoles sont observables dans la plaine comme résumé sur l'encadré N°2. Les points d'eau, le plus souvent dépourvus des équipements de surface comme la dalle anti-bourbier voire peu étanches, sont des lieux de rencontre entre tous les utilisateurs (animaux et Hommes) ; ce qui crée une insalubrité autour de ces ouvrages. Les borbiers mélangés de déjections animales pénètrent dans le sol et peuvent atteindre les nappes souterraines. D'autre part, les activités agricoles y sont intenses et cristallisent une utilisation irrationnelle des produits phytosanitaires et intrants chimiques pour améliorer le rendement des cultures. Tout cela constitue les facteurs de risque de contamination au nitrate de la nappe de la plaine de Djermaya.



Encadré N°1 : les activités socio-économiques, facteurs contributifs à la pollution au nitrate de la plaine de Djermaya

Résultats de la Piézométrie

En plus des coordonnées géographiques des ouvrages, le nom du quartier ou village où ils sont installés leur a été affecté comme indiqué au tableau N° 1.

Table 1 – Résultats des paramètres hydrodynamiques des ouvrages hydrauliques

site	X	Y	Altitude(m)	Code_Type_Ouv	NS(m)	NP(m)
Pont Bélilé	15.2833338	12.8666668	288	FOR	14.85	273.15
Djogana	15.3013887	12.6444445	289	FOR	39.65	249.34
Djermaya	15.8983335	12.5472221	295	PUI	40.05	254.95
Adorot	15.7513885	12.4944448	295	FOR	40	255
Amsinet	15.4388885	12.4777775	293	FOR	42.60	250.40
Farcha	14.9972219	12.4666662	292	FOR	27.65	264.35
Taboye	14.9499998	12.5722218	293	FOR	0.04	292.96
Naala	14.958333	12.6888885	290	FOR	22.10	267.870
Massaguet centre	15.1166668	12.5333338	292	FOR	32.70	259.279
Karmé	15.0500002	12.416667	293	FOR	29	264.02
Douguia	14.833333	12.6416664	287	FOR	7.30	279.7
Guitté	15.25	12.4499998	293	FOR	37.97	255.02
Rigueyek	14.6338892	12.8902779	286	FOR	30.20	255.799999
Tourba Ecole	15.2586098	12.4650002	292	FOR	38.12	253.880001
Karal Cl	14.6777782	12.8000002	289	FOR	17.30	271.700001

X : Longitude ; Y : Latitude ; NS : Niveau Statique ; NP : Niveau piézométrique ; FOR : forage ; PUI : puits ;

L'analyse du tableau N° 1 montre que les niveaux statiques des ouvrages oscillent entre 14 et 42 m avec une moyenne de 27m ; le niveau piézométrique oscille entre 249m à Djinéné contre 292m à Boutelfil. Ce qui donne une faible piézométrie sur l'ensemble de la plaine. La faible piézométrie est évoquée par (Dieng et al., 1999; Rouabhia et al., 2004; Dégbey et al., 2011) comme facteur de diffusion des produits chimiques dans les aquifères. Par ailleurs, de Boutelfil à Djinéné, on note une déclinaison du terrain. Ce qui rend plus vulnérable Djinéné comme point de convergence des eaux. Les levés piézométriques complétés des observations des terrains ont permis l'établissement de la carte piézométrique de la plaine de Djermaya présentée sur la figure N° 3.

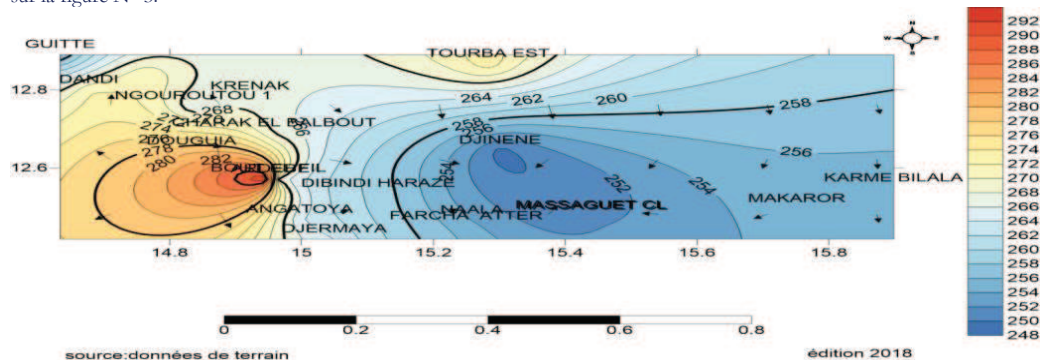


Figure 3- Carte piézométrique de la plaine de Djermaya

L'analyse de la carte piézométrique montre une zone de dépression à Djinéné. Ce qui est similaire au résultat de Hamit(2012) sur Bachom. Par ailleurs, on remarque que les courbes isopièzes sont espacées autour de la dépression et serrées autour du dôme à Boutelfil. Cet espacement des courbes isopièzes augmente avec la perméabilité voire le débit. Inversement, lorsque la perméabilité diminue, les courbes se resserrent. Ce qui laisse croire que les formations autour de la dépression sont perméables et permettent au polluant de diffuser facilement.

Résultats de l'analyse physico-chimique des eaux

L'analyse physico-chimique a porté sur un échantillon de quinze ouvrages choisis sur la base de la densité des activités agropastorales autour de ceux-ci. Ces ouvrages sont répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau N°2.

Table 2- Résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la plaine de djermaya

Paramètres	Pont Belile	Djogana	Djarmaya	Adorat	Amsinet	Farcha	Taboye	Naala	massaguet	Karmé	Douguia	Guitté	Rigueyek	Tourba ecole	Karal	norme Nationale
Ca ²⁺	44	168	48	32	236	32	37,6	408	22,4	224	16	64	47,2	160	80	100
Mg ²⁺	1,2	9,7	11,2	2,4	1,2	9,7	4,7	43,7	1,2	38,9	1,2	29,2	0,5	34	4,9	50
Na ⁺	38	123	89	16	223	48	35	618	37	532	9,1	158	50	213	213	200
K ⁺	4,4	6	8	2,3	11	4,5	7,6	3,1	7,7	11	5,4	8	7,6	9	7	12
Fe ²⁺	0,4	0,1	0	0	0,3	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0,3	0,1	0	0,1	0,3
NH ₄ ⁺	0,44	0,38	0,51	1,31	0,87	0,52	0,79	1,36	0,39	1,07	1,1	1,36	1	0,05	0,07	0,5
HCO ₃ ⁻	183	561,2	239,1	73,2	610	146,4	140,1	1512,8	122	244	63,2	414,8	170	378,2	439,2	50
Cl ⁻	33	180	60	21	33	50	30	390	22	470	15	60	40	140	6	250
SO ₄ ²⁻	12	85	36	5	55	14	17	478	14	1060	0	155	21	560	140	250
NO ₃ ⁻	0,9	0	22	57	22	17	52	25	21	90,5	5	6	9,4	3	22	50
T°C	30,3	29,7	31,1	33,1	30,8	29	31	32	29,4	30,7	29,4	28,9	31,2	30,9	30,8	
CE (µs/cm)	616	1055	768	223	2170	617	529	4100	411	7221	225	1253	552	2465	1543	
PH	6,71	6,67	6,79	6,64	6,74	6,94	6,77	6,59	6,35	6,74	6,73	7,06	6,79	6,66	7,98	

L'analyse des paramètres physiques des eaux échantillonnées montre que les températures du secteur d'étude varient entre 33.1°C à Adorat et 38.9°C à Guitté avec une moyenne de 30.61°C. Elles varient de manière cohérente avec les températures moyennes mensuelles de l'air mesurées à la station de Ndjamena (31 à 41°C).

Les pH mesurés sont homogènes sur l'ensemble des eaux échantillonnées et se situent autour de la neutralité. Ils varient entre 6,35 et 7,95 avec une moyenne de 6.81. Les valeurs les plus faibles sont observées dans la zone de Massaguet et les plus élevées dans la zone de Karal. Les valeurs des conductivités électriques sont hétérogènes sur l'ensemble de la zone d'étude. Les faibles valeurs sont mesurées à Douguia (225 µS.cm⁻¹) à proximité du fleuve Chari-Logone. La conductivité la plus élevée (7221 µS/cm) est mesurée à Karmé Bilala. Cette valeur peut s'expliquer par la forte minéralisation de l'eau dans la zone d'étude couronnée par le phénomène d'évaporation au regard de la position de l'ouvrage par rapport à la dépression piézométrique.

L'analyse des éléments chimiques et plus particulièrement du nitrate indique que 12 échantillons sur les 15, présentent des teneurs en nitrates conformes à la norme nationale de potabilité contre 3 échantillons qui présentent des teneurs en nitrates au-delà de la même norme. Ce qui représente statistiquement 20% de l'échantillon total analysé. Les fortes valeurs en nitrates sont observées à Karmé (90.5mg/l), à Adorat (57mg/l) et Taboye (52mg/l). Les faibles valeurs sont observées à Pont Béililé (0.9mg/l), Djogana (0.0mg/l), Tourba (3mg/l), Douguia (5mg/l) et Guitté (6mg/l). Des valeurs intermédiaires sont également observées à Djermaya (22mg/l), Karal (22mg/l), Amsinet (22.2mg/l) et Naala (25mg/l). Cette répartition nous a permis d'établir la carte de la teneur en nitrate présentée à la figure N°4. En définitive, on note que sur l'ensemble de la zone d'étude, la proportion où la teneur en nitrate est au-dessus de la normale est faible.

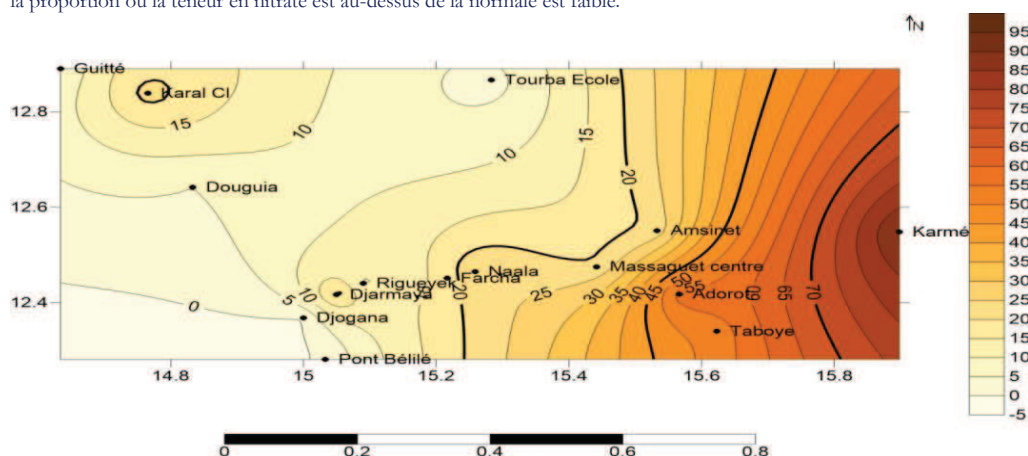


Figure 4- Carte de la teneur en nitrate de la plaine de Djermaya

Toutefois, pour vérifier la fiabilité des résultats d'analyses, une balance ionique basée sur l'électro-neutralité de l'eau est donnée automatiquement par le logiciel Diagramme pour chaque échantillon d'eau. En effet, une analyse chimique est considérée comme valide lorsque la balance ionique ne dépasse $\pm 5\%$. Les balances ioniques ont été vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés conformément au tableau N°3. Il se dégage que 93.33% des échantillons présentent un résultat acceptable. Seuls 6.66%, soit un seul échantillon notamment celui du site de Karal présente une balance ionique débordante allant jusqu'à +13%. Cela n'entame en rien la fiabilité des résultats.

Table 3- Balance ionique

N°	Echantillon	Σ cations (meq/l)	Σ anions (meq/l)	Balance
1	Pont Bélilé	4.10370	4.19440	-1%
2	Djogana	14.71400	16.04400	-4%
3	Djermaya	7.42100	6.71570	5%
4	Adorot	2.62550	2.81540	-3%
5	Amsinet	21.91900	22.73800	-2%
6	Farcha	4.63070	4.37540	3%
7	Taboye	4.02660	4.33420	-4%
8	Naala	51.00600	46.14900	5%
9	Massaguet centre	3.05730	3.25020	-3%
10	Karmé	37.86800	40.78600	-4%
11	Douguia	1.49440	1.53950	-1%
12	Guitté	12.75900	11.81500	4%
13	Riguyek	4.82390	4.51640	3%
14	Tourba Ecole	20.28300	21.85500	-4%
15	Karal Cl	13.84600	10.63800	13%

En terme clair, on peut affirmer que la plaine de Djermaya accuse une contamination au nitrate par endroit. Afin de déterminer l'origine de cette contamination au nitrate, une corrélation entre le nitrate et les autres éléments chimiques est réalisée pour observer leur affinité. Cette corrélation s'appuie sur une matrice de corrélation qui permet d'établir les relations entre les variables chimiques et de ressortir celles qui présentent un comportement similaire en vue d'avoir une idée sur le chimisme des eaux souterraines.

En effet, l'analyse de la matrice de corrélation permet de retenir les éléments corrélés deux à deux pour voir les éléments qui ont une origine commune. En l'espèce, la corrélation est faite entre le nitrate et le fer qui est un paramètre indésirable et entre le nitrate et l'ammonium qui est un paramètre polluant. Les coefficients de corrélation sont compris dans l'intervalle -1,00 à +1,00. La valeur -1,00 représente une parfaite corrélation négative tandis que la valeur +1,00 représente une parfaite corrélation positive. La valeur 0,00 représente une absence de corrélation (ou l'indépendance entre les variables). Le tableau N°4 présente la matrice de corrélation.

Tableau 4- Matrice de corrélation

Variables	T°C	pH	Cond	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Fe2+	NH4+	HCO3-	Cl-	SO42-	NO3-
T°C	1												
pH	-0.060	1											
Cond	0.164	-0.027	1										
Ca2+	0.291	-0.148	0.741	1									
Mg2+	0.084	-0.081	0.776	0.690	1								
Na+	0.246	0.028	0.911	0.903	0.827	1							
K+	-0.295	0.068	0.409	0.117	0.149	0.197	1						
Fe2+	-0.314	-0.072	0.216	0.289	0.071	0.265	0.132	1					
NH4+	0.233	-0.268	0.206	0.229	0.241	0.264	-0.197	0.085	1				
HCO3-	0.230	-0.002	0.445	0.890	0.587	0.760	-0.137	0.307	0.214	1			
Cl-	0.181	-0.227	0.909	0.783	0.825	0.891	0.134	0.133	0.280	0.558	1		
SO42-	0.153	-0.078	0.948	0.727	0.714	0.829	0.556	0.208	0.137	0.385	0.787	1	
NO3-	0.463	-0.058	0.572	0.170	0.240	0.387	0.193	-0.149	0.353	-0.110	0.469	0.497	1

Corrélation entre le nitrate et le fer

La corrélation entre le nitrate et le fer est représentée dans la figure N°5. L'analyse de cette figure montre une dispersion irrégulière des points autour de la droite d'ajustement. De plus, avec un coefficient de corrélation de $R=0,022$, on constate qu'il n'y a pas de corrélation significative entre le nitrate et le fer.

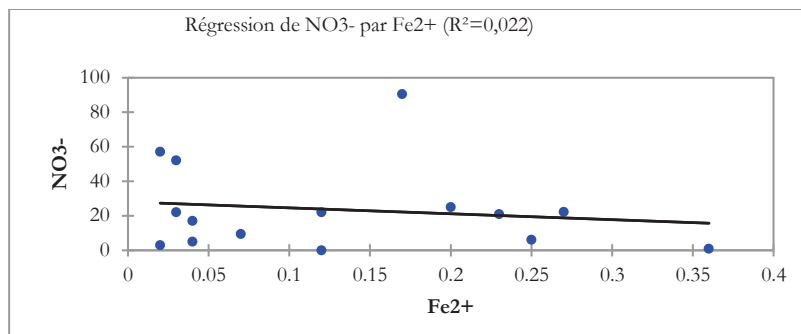


Figure N°5 : Corrélation entre le nitrate et le fer

Corrélation entre le nitrate et l'ion ammonium

Comme avec le fer, le nitrate ne montre pas de corrélation significative avec l'ammonium. La faible valeur du coefficient de corrélation ($R=0,353$) et la dispersion irrégulière des points autour de la droite d'ajustement laissent entrevoir un comportement hydrochimique différent.

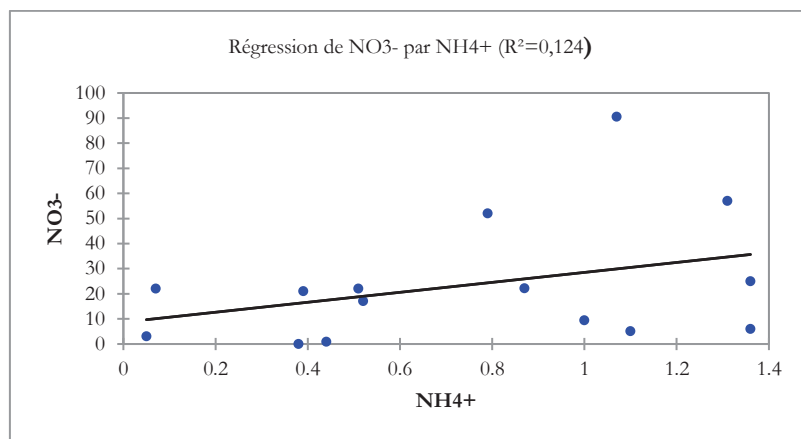


Figure 6: Corrélation entre le nitrate et l'ammonium

En définitive, l'un dans l'autre, on note qu'il n'y a pas de corrélation significative entre le nitrate et les différents éléments chimiques. L'hypothèse d'une hydrolyse chimique qui libère des bases échangeables susceptibles d'expliquer la concentration anormale du nitrate dans l'eau ne se justifie pas. Par contre l'origine des teneurs élevées en nitrates observées par endroit dans la zone d'étude notamment à Karmé 90.5mg/l, Taboye 52mg/l et Adorot 57mg/l pourrait s'expliquer par la densité des activités agropastorales locales caractérisées par l'utilisation inappropriée des intrants chimiques et des amendements organiques à la base des déjections animales. Ce résultat corrobore ceux de Girard et Hillaire-Marcel, 1996; Walvoord et al. 2003 ; Stadler et al. 2008 qui ont rapporté que la présence de nitrates, en concentration élevée, dans des aquifères sous climat aride, est due à une pollution anthropique. La faible piézométrie peut aussi être indexée comme un facteur de diffusion des polluants dans les aquifères. A ce sujet, Mehdaoui (2000), Sbei (2004), Arumi (2006) et Mouni (2009) ont trouvé que les aquifères peu profonds ou non confinés peuvent être contaminés par des rejets ou des suintements dus à des pratiques agricoles présentes sur le site. L'hypothèse d'une contamination d'origine industrielle n'est pas mise en évidence dans la mesure où les ouvrages situés à proximité de la raffinerie présentent des faibles concentrations en nitrate, il s'agit notamment de Rigueyek (9.4mg/l), Djogana (0.0mg/l) et Farcha (17mg/l). Toutefois, l'effet de la diffusion ou de la dispersion du nitrate à long terme dans la nappe pourrait impacter toute la zone d'étude si les dispositions conséquentes ne sont pas prises.

CONCLUSION

L'objectif assigné à cette étude, était de faire le point sur l'état de contamination au nitrate de l'eau souterraine de la plaine de Djermaya. Les résultats auxquels nous sommes parvenus montrent qu'une contamination des eaux au nitrate est détectée dans 20% des ouvrages prélevés dans la plaine de Djermaya. La corrélation du nitrate avec les autres éléments chimiques des eaux analysées montrent une indifférence significative du nitrate avec ceux-ci. Cet élément montre que l'origine des nitrates dans les eaux serait due probablement à l'utilisation irrationnelle des intrants chimiques et des amendements organiques à base des déjections animales.

L'étude hydrodynamique a permis de déterminer le sens d'écoulement des eaux et de mettre en évidence une zone de dépression piézométrique à Djinéné. Elle montre en général une faible piézométrie sur l'ensemble de la zone d'étude. L'analyse des sols pour apprécier leur degré de pollution en nitrates et leur indice de vulnérabilité constitue un résultat non atteint de l'étude. Notre souhait est de voir les prochaines études s'appesantir sur cet aspect d'étude. Njitchoua et al. (1996) ont montré que naturellement, les eaux et les sols renferment de nitrate. Celui-ci provient de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales telles que légumineuses par des cyanobactéries. Mais lorsque les concentrations dépassent les normes d'un pays, les investigations scientifiques sont les voies qui permettent de faire l'état des lieux et fournir des outils d'aide à la décision. Il est en définitive nécessaire d'informer, d'éduquer et communiquer avec les agropasteurs locaux de la nécessité d'une utilisation conventionnelle de sources de nitrate.

Références

1. Paquerot S (2005). Eau douce : la nécessaire refondation du droit international, Puq.
2. Baron C., 2009. L'eau en Afrique : disponibilité et accès. Revue Futuribles N°359.
3. CHantyngy. M.H., (2007). Mythes et réalités sur l'azote et des fumiers. Colloque sur l'azote. Centre de Référence
4. Agronomique et Agroalimentaire du Québec et l'Ordre des Agronomes du Québec, 6 p.
5. Girard, P. AND Hillaire-Marcel, C., (1996). Determining the source of nitrate pollution in Niger discontinuous aquifers using the natural 15N/14N ratios. Journal of Hydrology, 199,3-4, pp.239-251.
6. Hamit A., (2012). Etude du fonctionnement hydrogéochimique du système aquifère du Chari Baguirmi. Thèse
7. Univ. Poitiers, 288p.
8. Atanosova, E., (2008). « Effect of nitrogen sources on the nitrogenous forms and accumulation of amino acid in head cabbage » .Plant, Soil and Environment, Volume 54, pp. 66-71.
9. Dieng Y., Tandia A., Wane. A.T., Gaye O., DIOP E. S. ; DIALLO S. (1999). Les parasitoses intestinales chez les habitants d'une zone périurbaine à nappe phréatique polluée par les nitrates d'origine fécale (Yeumbeul, Sénégal). Cahiers santé; 9: 351-356.
11. Rouabhia A., Baali. F., Kherici N., Djarbi L. (2004). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algerie). Sécheresse ; 15 : 347-52.
12. Degbey C., Makoutodé M., Agueh V., Dramaix M. ; Debrouwer C. (2011). Facteurs associés à la qualité de l'eau de puits et prévalence des maladies hydriques dans la commune d'Abomey Calavi (Bénin). Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé, 21 : 47-55.
13. Mehdaoui O., Venanta A., Fekhaoui M. (2000). Contamination par les pesticides organochlorés et les nitrates de la lagune de Moulay Bouselham, Maroc. Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé ; 10 : 381-12. Sebei A.,
14. CHaabani F., Souissi F., Saadi A. (2004). Hydrologie et qualité des eaux de la nappe de Grombalia (Tunisie nord-orientale). Sécheresse ; 15 : 159-66.
15. Arumi J.L., Núñez J., Salgado L., Claret M. (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. Rev Panam Salud Publica, 20 : 385-392. doi: 10.1590/S1020-49892006001100004.
16. Mouni L., Merabet D., Arkoub H., Moussaceb K. (2009). Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algerie). Sécheresse ; 20 : 360-6. doi : 10.1684/sec.2009.0209
17. Walvoord, M.A., Philips, F.M.; Stonestrom, D.A., Evans, R.D., Hartsough, P.C., Newman, B.D., et Striegl, R.C., 2003. A reservoir of nitrate beneath desert soils. Science, 302, pp.1021-1024.
18. Stadler, et al. 2008, Understanding the origin and fate of nitrate in groundwater of semi-arid environments. Journal of Environment, 72 : 1830-1842
19. Njitchoua R., Dever L., Fontes J.C. And Naah E., 1996. Geochemistry, origin and recharge mechanisms of groundwaters from the Garoua Sandstone aquifer, northern Cameroon. Journal of Hydrology, 190: 123-140.