

Approche Géospatiale De L'évaluation De La Qualité Des Eaux Dans Le Diamaré (Extrême Nord - Cameroun)

Bello Mohammad^{1,3}, Oumar Moucherou Farouk¹, Oumar Mahamat Oumar², Niend Bertil³, Ngo Boum-Nkot³, Ewodo Mboudou G.⁴, Josephine Ndjama¹

¹ Institut de Recherches Géologiques et Minières. B.P 4110, Yaoundé – Cameroun

² Institut de Recherche Agricole pour le Développement. BP 2123, Yaoundé – Cameroun

³ Faculté des Sciences, Université de Douala B.P 24157, Douala – Cameroun

⁴ Département d'Hydraulique et Maîtrise des eaux, Institut du Sahel, Université de Maroua B.P 46 Maroua – Cameroun

*Corresponding author: mohammadbel@yahoo.fr

Abstract - Spatial variation in groundwater quality for drinking and irrigation in the Diamare Division have been studied using Inverse Distance Weighted techniques of ARGIS 10.2. The aim of study is to understand the spatial distribution for each chemical parameters and mapping areas at risk of water use. To achieve this, thirty four samples of well and boreholes were collected in 2013 and 2014. Evaluation of drinking water was done by comparing essentials of parameters such as pH, Electrical Conductivity (EC), Nitrate (NO₃-), Sulfate (SO₄²⁻), chloride (Cl⁻) potassium (K⁺), sodium (Na⁺) and fluoride (F⁻) to the guideline value of World Health Organisation (WHO). Those for irrigation used was determined by from Sodium Adsorption Ratio (SAR) formula. Study shows that, 25% of wells and boreholes are unsuitable for drinking while 11% of wells and boreholes present risks for irrigation use. Mapping was determined for risk area in terms of water quality suitability for drinking and suitability for irrigation. All these areas are located in or around cities.

Keywords—*spatial variation, Ground Water quality, drinking water, Irrigation, Sodium Adsorption Ratio*

Résumé - La variation spatiale de la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation des populations et à l'irrigation dans le département de Diamaré à l'Extrême-Nord du Cameroun a été étudiée en utilisant les techniques d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighted) de ARGIS. L'étude a eu pour objectif de comprendre la distribution spatiale pour chacun des paramètres physico chimiques et de dresser une cartographie des zones à risque d'utilisation d'eau. Pour y arriver, trente-quatre échantillons d'eau de puits et forages ont été prélevés en 2013 et 2014 sous environnement sédimentaire et de socle. L'évaluation de la qualité de ces eaux pour la consommation a été faite par comparaison des valeurs des paramètres tels que le pH, la Conductivité Electrique (CE), le Nitrate (NO₃-), le Sulfate (SO₄²⁻), le chlorure (Cl⁻) le potassium (K⁺), le sodium (Na⁺), le Fluor (F⁻) aux valeurs préconisées par la norme OMS, 2005. Celles destinées à l'irrigation a été faite à partir du Sodium Adsorption Ratio (SAR). Il ressort de l'étude que sur trente-quatre échantillons prélevés en zone sédimentaire et de socle, 25% de puits et forages sont inappropriées à la consommation tandis que les eaux de 11% des puits et forages présentent des risques quant à leur utilisation pour l'irrigation. La réalisation des cartes de distribution des différents indicateurs de qualité a permis de délimiter des

zones potentielles à risque d'utilisation d'eau qui pour la plus part sont situées dans les villes et ses environs.

Most Cles—Variation spatiale, Qualité des eaux souterraines, Eau de consommation, Eau d'irrigation, Sodium Adsorption Ratio

I. INTRODUCTION

A l'Extrême-Nord du Cameroun, l'eau souterraine constitue la principale source permanente pour l'approvisionnement en eau potable des populations. L'augmentation des populations ces 20 dernières années dans le Diamaré a eu pour corollaire le développement des villes et la pression sur les eaux souterraines. Le recours aux eaux souterraines est plus accentué pendant la saison sèche soit pour des raisons de consommation domestique soit pour des besoins d'irrigation.

En effet, le maraîchage de saison sèche, qui participe à une stratégie de rattrapage des mauvaises campagnes agricoles de saison des pluies favorise une utilisation plus accrues des eaux souterraines pour les besoins de la plante. Il a été observé qu'à l'occasion de nombreuses études hydrogéochimiques dans la région de l'Extrême Nord du Cameroun que la qualité de l'eau est influencée par la vétusté du réseau d'assainissement, par l'utilisation des engrais et aussi par la présence du fluor d'origine géogénique ([16] ; [9] ; [13]).

L'utilisation optimale et durable des eaux impose donc leur l'évaluation en termes de qualité, dans cette zone où elles sont utilisées pour la consommation et pour l'irrigation. Plusieurs études dans

le domaine des géosciences ont été menées en utilisant des techniques du Système d'Information Géographique (SIG). En effet, on peut citer les travaux portant sur la contamination des eaux souterraines et leur variation spatiale dans la ville de Seoul [12], et ceux qui portent sur l'hydrochimie des eaux souterraines et l'évaluation de leur potabilité [22], et enfin, les travaux sur la contamination des eaux souterraines en rapport avec la croissance démographique dans la localité de Sohag en Egypte [1].

Ainsi, le SIG apparaît comme un outil efficace non seulement dans la représentation géospatiale (utilisation des cartes) des données sur la qualité des eaux souterraines mais aussi, il est un outil de prédiction et d'aide à la prise des décisions dans le cadre de la gestion durable des ressources en eau.

Cette étude a donc pour objectif, d'évaluer la qualité des eaux souterraines dans le Diamaré et de déterminer les zones à risque pour leur utilisation.

II. Matériel et Méthodes

1. Zone d'étude

1.1 Localisation, climat et hydrologie

La zone d'étude est située dans la région de l'Extrême Nord du Cameroun. Elle est localisée entre 10,40° et 11,80° de latitude Nord et 13,90 et 15,00 de longitude Est (Fig.1). Deux principales unités géomorphologiques séparés par un cordon dunaire fossile se distinguent. La dépression tchadienne appelée plaine des Yaérés et la plaine alluviale de piedmont.

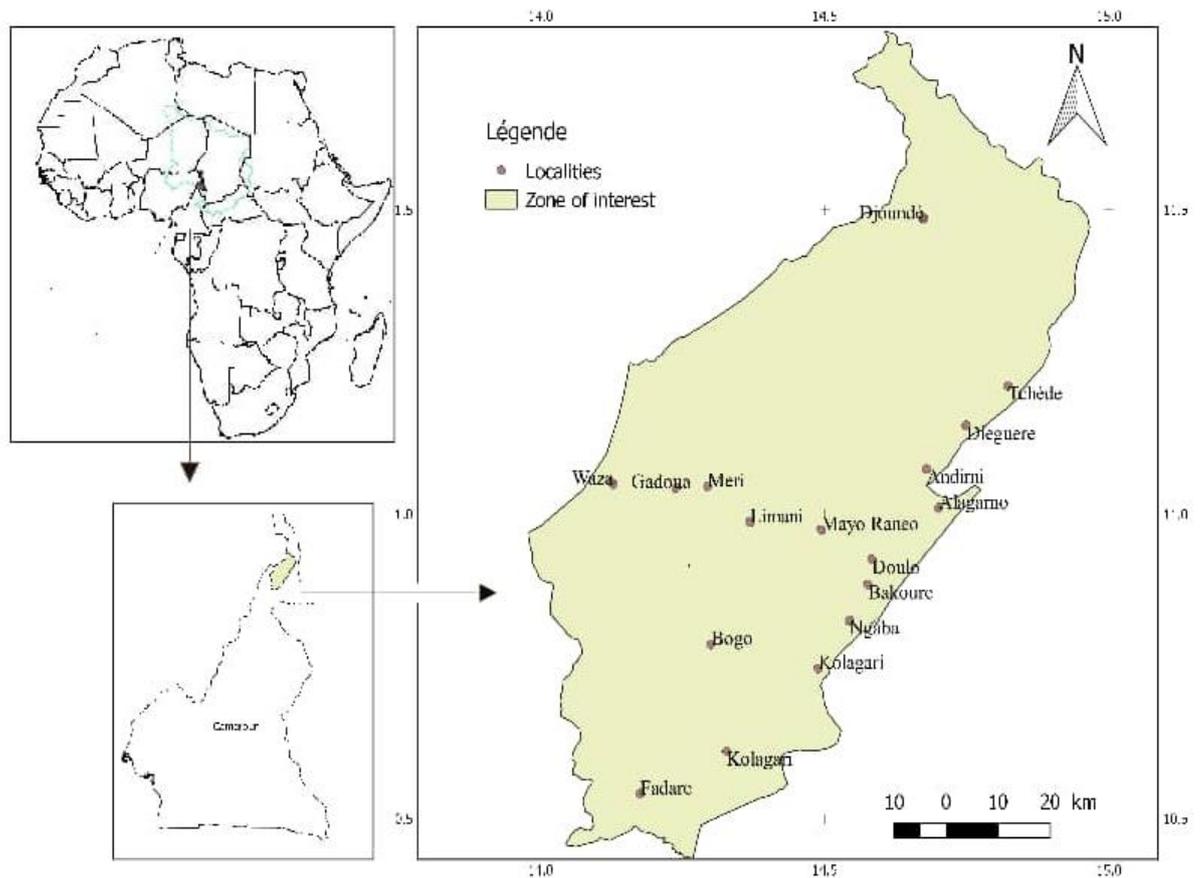


Fig. 1 : carte de localisation de la zone d'étude

Le climat est semi-aride et caractérisé par une saison des pluies allant de mai à septembre [16]. La pluviométrie annuelle moyenne enregistrée à la station SODECOTON de Maroua de 1927 à 2005 est de 789,4 mm avec une température moyenne pour la période 1955 – 2002 de 28,1° C [21]. [5] ont montré qu'il y avait une baisse simultanée de la température moyenne annuelle et des précipitations annuelles entre 1957 et 2006. Même si la température moyenne annuelle montre une légère diminution, la variation des précipitations à Maroua d'environ 900 à 800 mm est encore très importante. L'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle est de 1120 mm [18], ce qui est supérieure aux précipitations annuelles.

Le réseau hydrographique du bassin est issu des monts Mandara d'où partent de nombreuses rivières ou "Mayo", toutes tributaires des régimes des précipitations.

L'hydrographie locale se caractérise par sa dépend-

ance aux systèmes hydrologiques du fleuve Logone et aux Mayos (nom local des petites rivières) qui prennent leur source dans les monts Mandara à l'ouest de la région. La faible pente de la plaine du Diamaré favorise l'épandage des eaux d'écoulement (Fig. 2).

Le débit mesuré pendant la fin de la saison sèche d'avril à mai 2013 à la station de Logone-Gana (côté tchadien) représente 72,4 m³/s [20]. Les premières pluies de mai / juin saturent le sol et comblent la plaine. [18] et [15] estiment le bilan hydrique de la plaine du Diamaré de l'ordre 900 mm / an.

1.2. Géologie et hydrogéologie

Les formations géologiques rencontrées dans le Diamaré sont dominées par les roches sédimentaires, volcaniques et plutoniques. A l'ouest de la zone d'étude, la mise en place des failles profondes au cours de l'orogénèse panafricaine a favorisé l'émission d'un magmatisme plutonique et d'une ac-

tivité volcanique accompagnée de venues trachytiques ; cela a abouti à la mise en place des monts Mandara. Les roches sédimentaires présentes sont représentées par des dépôts de séries fluviatiles à fluviolacustres ([10] ; [4]). On y distingue deux phases de sédimentation. La première phase a mis en place une série de base constituée par une sédimentation soit avec galets de quartz soit aussi par des sables fins et d'une couche d'argile compacte ou d'argile sableuse [17]. Quant à la seconde phase, on distingue une série fluviolacustre de base constituée d'une couche argilo sableuse à nodule calcaire, une série fluviatile Composée d'un niveau de graviers roulés [11], sur laquelle repose une couche de sable grossier riches en feldspaths et une couche de sables quartzeux grossiers [19]. Ensuite, vient une série alluviale présente dans les axes hydrographiques. Enfin, [8] identifie une dernière série argileuse subactuelle à actuelle communément appelée "argile de surface" ou "karal" composée de smectite, de kaolinite, d'illite et de quelque sinter stratifié sillite-smectite-chlorite) ; leur nature gonflante leur confère une capacité de rétention d'eau élevée.

2. Méthodes

Des échantillons d'eau de trente-deux puits et forages ont été collectés en 2013 et 2014 (Figure 2). Les coordonnées des différents points d'eau ont été enregistrées en utilisant le GPS Garmin GPS-MAP 62st. Les paramètres tels que la température, la conductivité électrique (CE) et le pH ont été mesurés in situ. Les eaux ont été collectées dans des bouteilles en PVC de 500 ml de contenance. Les

L'évaluation de la qualité des eaux pour la consommation s'est faite par comparaison des paramètres analysés aux valeurs admissibles tels que recommandées par l'OMS [25]. Quant à la détermination de la qualité de l'eau destinée à l'agriculture, nous avons utilisé la formule suivante [20]:

$$SAR = Na / \sqrt{((Ca + Mg) / 2)}$$

Les formations du socle et du quaternaire constituent les principales aquifères de la zone. L'aquifère du socle est constitué par la succession, altérite, socle fissuré, socle sain est situé à l'ouest et à la bordure sud de notre zone d'étude [7]. Cet aquifère est caractérisé par une faible perméabilité (de 1,106 m².s⁻¹) et dont l'épaisseur est comprise entre 0 et 50m. Les débits moyens fournis par les forages sont de l'ordre de 2 m³/h.

Quant à l'aquifère du quaternaire, il s'étend depuis le pied des monts Mandara jusqu'au Lac Tchad. Il est recouvert par un manteau alluvionnaire hérité de composition sableux argileuse [23]. Il a fait l'objet de nombreux travaux. [24] et [7] distinguent deux domaines dans l'extrême nord du Cameroun auxquels appartiennent la nappe de piémont, celles du Diamaré et de la plaine de Kar-Hay. Les données de forage concernant ces nappes situent la profondeur moyenne des forages à 43,5 m et les débits de forage sont supérieurs à 1 m³/h dans 60% des cas.

différents échantillons ont été étiquetés et conservés dans une glacière puis dans un réfrigérateur avant d'être envoyé au Laboratoire pour analyse. Les analyses ont concerné, Les bicarbonates (CHO-3) le Nitrate (NO-3), le Sulfate (SO₂-4), le chlorure (Cl-), le potassium (K+), le magnésium (Mg₂+), le sodium (Na+) et le Fluor (F-).

Le SAR (Sodium Adsorption Ratio), exprime la proportion du sodium en rapport avec le calcium et le magnésium contenu dans chaque échantillon. Ce paramètre est utilisé pour classer les risques liés au sodium dans les sources d'eau d'irrigation [14]. Les eaux sont donc classées en quatre classe telle qu'indiquée dans le tableau 1

Paramètre	Classe	Qualité
SAR	S1 (SAR < 10)	Excellent
	S2 (10,1 < SAR < 18)	Bonne
	S3 (18,1 < SAR < 26)	Médiocre
	S4 (SAR > 26)	Mauvaise

Tableau 1 : Classe des eaux d'irrigation

La méthode d'Interpolation par Pondération inverse à la Distance (IDW) de ARGIS10.2 a été appliquée, afin d'étudier la variation spatiale de ces paramètres. La figure 3 présente le schéma conceptuel qui a été appliquée. En effet pour chaque point échantillonné, il est attribué un certain nombre de poids en fonction de la distance de ce point à un autre. Ces points sont contrôlés sur la base d'une puissance de 10. Plus la

puissance est élevée, plus l'effet de distance entre les points diminue. Dans cette méthode, la distance entre deux points compte dans ce sens que les points à égal distance ont le même poids. Au final, des cartes de distribution spatiale de ces paramètres a permis de déterminer les différentes zones à risque d'utilisation d'eau de consommation et d'irrigation

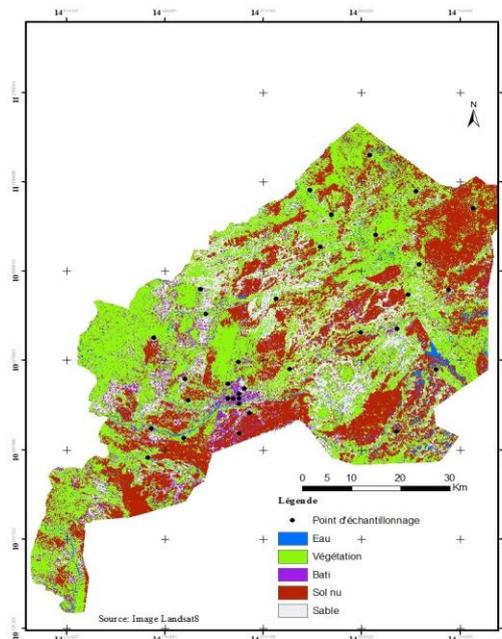


Fig. 2 : Points d'échantillonnage

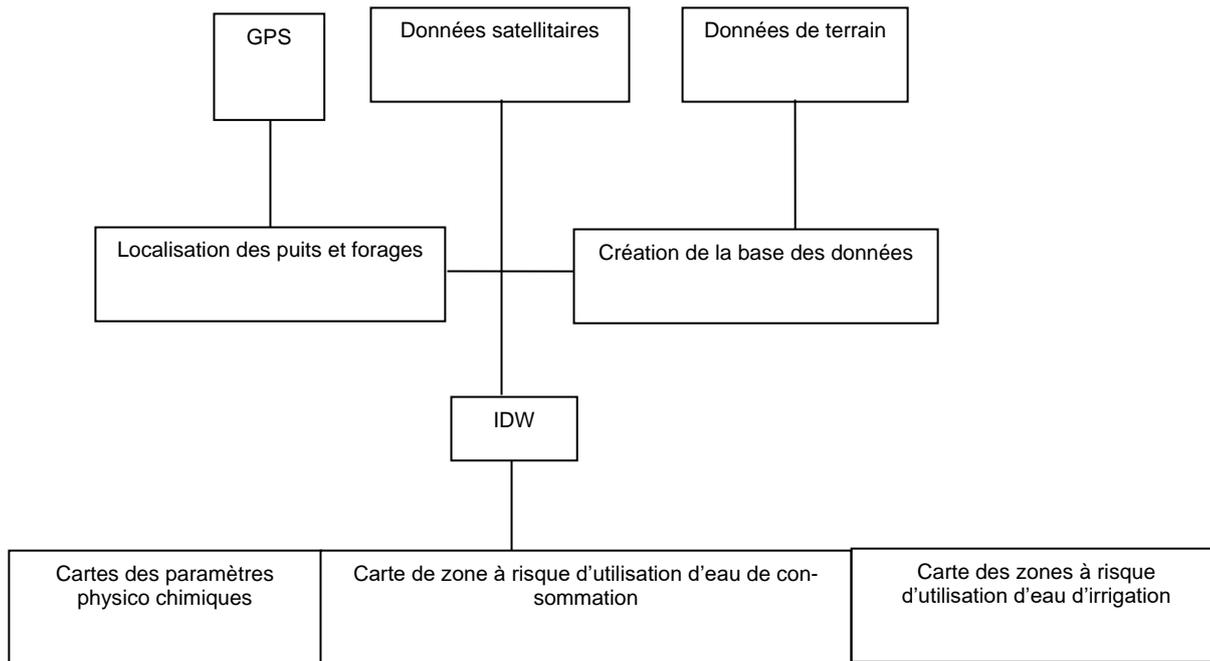


Figure 3 : Schéma conceptuel du processus

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Paramètres physico chimiques

Les résultats des différents paramètres physico chimiques analysés sont présentés dans les tableaux (2 et 3). Les cartes de distribution de ces paramètres sont représentées par les Fig. 4, 5, 6, 7, 8 et 9. La figure 4 présente la distribution spatiale de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Les valeurs mesurées varient entre 85 et 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne autour de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un écart-type proche

de la moyenne. Cette variabilité importante de la conductivité (2315 $\mu\text{S}/\text{cm}$) explique la forte hétérogénéité de l'aquifère dans la distribution des charges minérales qui peut être liée soit à la lithologie soit aux pollutions ponctuelles.

La carte de distribution établie pour ce paramètre délimite deux principales zones où ses valeurs sont supérieures à celle prescrite par la norme OMS en ce qui concerne les eaux de consommation

Tableau 2 : Statistique des paramètres analysés

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecartype	OMS
EC	85	3600	698.82	782.62	
TDS	13.78	3243.75	544.49	638.23	
Temp	28.8	34.4	31.18	1.10	
pH	5.86	7.35	6.69	0.31	6.5-9.5
HCO ₃ ⁻	4.27	479.46	226.41	140.43	
Na ⁺	1.12	214.32	54.88	58.35	250
K ⁺	0.21	94.46	6.68	16.17	
Mg ²⁺	0.12	199.08	23.16	40.94	
Ca ⁺	0.98	428.77	56.63	77.07	200
Cl ⁻	0.62	272.32	38.38	74.16	200
NO ₃ ⁻	0	1433.53	111.66	278.30	50
SO ₄ ²⁻	0.23	197.28	26.69	46.17	500
F ⁻	0	1.68	0.29	0.38	1,5

Tableau 3 : Résultats de l'analyse des paramètres physicochimiques

Nom	EC	pH	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	SAR
CMBW10	2060	6.8	180.59	201.62	1.47	67.07	104.21	238.98	478.41	85.03	0	22
CMBW10'	1664	6.7	4.27	1.12	0.89	0.67	0.98	1.59	4.03	0.23	0.34	1
CMBW11	217	6.82	100.04	28.15	0.76	2.94	19.24	3.55	22.76	5.21	1.15	8
CMBW19	135	6.96	87.84	13.72	1.92	2.1	15.81	0.62	0.24	1.11	0.08	5
CMBW2	315	6.78	180.59	47.55	2.73	4.34	15.61	8.77	1.79	5.94	0.54	15
CMBW20	338	6.69	235.46	31.82	3.59	6.32	38.5	1.73	5.5	1.28	0.1	7
CMBW21	149	6.42	82.96	18.39	1.67	0.12	18.54	3.06	8.92	3.97	0	6
CMBW3	184	6.48	112.24	21.08	2.03	2.1	21.64	2.49	2.2	5.26	0.04	6
CMBW4	294	6.8	206.18	23.53	4.58	7.39	37.31	2.24	2.63	2.2	0.12	5
CMBW5	547	7.01	387.96	40.6	0.38	40.35	34.53	2.22	10.77	9.46	0.24	7
CMBW6	1290	6.82	350.14	94.62	19.87	46.39	147.77	120.26	260.17	86.55	0.23	10
CMBW7	1964	6.38	479.46	101	14.31	126.31	189.23	170.89	538.09	117.61	0.32	8
CMBW8	545	7.35	369.66	51.71	1.37	33.08	47.58	4.68	29.37	5.19	0.25	8
CMBW9	2400	6.87	385.52	214.32	0.72	79.22	109.82	218.93	562.34	75.28	0.34	22
CMDW03	436	6.58	152.5	31	6.17	6.62	52.1	34.65	46.32	25.19	0.07	6
CMDW04	658	6.98	469.7	110.31	4.76	17	50.5	4.59	2.96	13.77	0.83	19
CMDW05	416	6.77	152.5	31.59	6.9	10.72	48.11	34.33	70.63	17.67	0.18	6
CMDW06	258	6.58	114.68	28.15	1.44	6.46	24.29	10.99	26.38	10.19	0.14	7
CMDW07	578	6.67	391.62	39.18	0.21	22.38	56.05	4.81	21.02	4.56	0.21	6
CMDW08	3600	6.55	461.16	157.15	94.46	199.08	428.77	272.32	1433.53	197.28	0.12	9
CMDW09	417	6.6	131.78	16.81	17.9	7.49	38.2	19.51	66.7	15.94	0.07	4
CMDW10	273	6.86	181.78	34.66	0.62	5.23	28.4	1.85	2.64	1.54	0.16	8
CMDW11	469	6.6	244.04	70.82	2.6	4.91	17.59	8.37	0.7	2.67	1.14	21
CMDW12	215	5.86	104.92	34.76	2.72	1.99	8.01	13.44	0	12.14	0.14	16
CMDW13	85	6.26	46.36	10.63	3.23	0.81	4.99	2.95	2.76	1.37	0.12	6
CMDW32	507	6.65	274.55	9.28	1.63	11.83	69.79	6.33	28.57	1.98	0.07	1
CMDW33	458	6.83	276.94	29.9	2.15	17.54	62.75	6.05	45.06	18.69	0	5
CMDW34	329	7.1	207.4	15.83	3.94	15.45	40.83	5.06	15.8	11.38	0.22	3
CMDW35	413	6.32	161.07	23.3	4.4	7.67	52.91	14.53	65.39	22.72	0.23	4
CMDW36	308	6.95	136.66	15.57	4.95	4.37	26.45	2.53	2.72	2.57	0	4
CMDW37	150	6.18	86.63	15.7	1.62	4.62	11.22	2.59	1.63	1.46	0	6
CMDW38	153	6.29	68.32	13.09	3.57	1.96	13.14	3.37	7.93	1.98	0	5
YC 13	1152	7.19	396.5	199	3.8	8.03	32.9	70.6	21.9	136	1.68	44
YC 9	783	6.88	475.8	90.1	3.7	14.9	57.7	6.08	6.48	4.01	0.593	15

Par ailleurs, aucune relation ne peut à priori être établie entre la conductivité et la localisation des points d'eau. Toutefois, la zone de Maroua située au sud du site d'étude est une grande métropole et l'on pourrait expliquer la valeur élevée de la conductivité par une minéralisation due aux eaux usées domes-

tiques pour les puits et forages situés en ville et par les retours d'eau d'irrigation pour les points d'eau situés à la périphérie de Maroua. Six points d'eau ont été identifiés dans ces zones comme étant non potable à la consommation du fait de la valeur trop élevée de leur CE

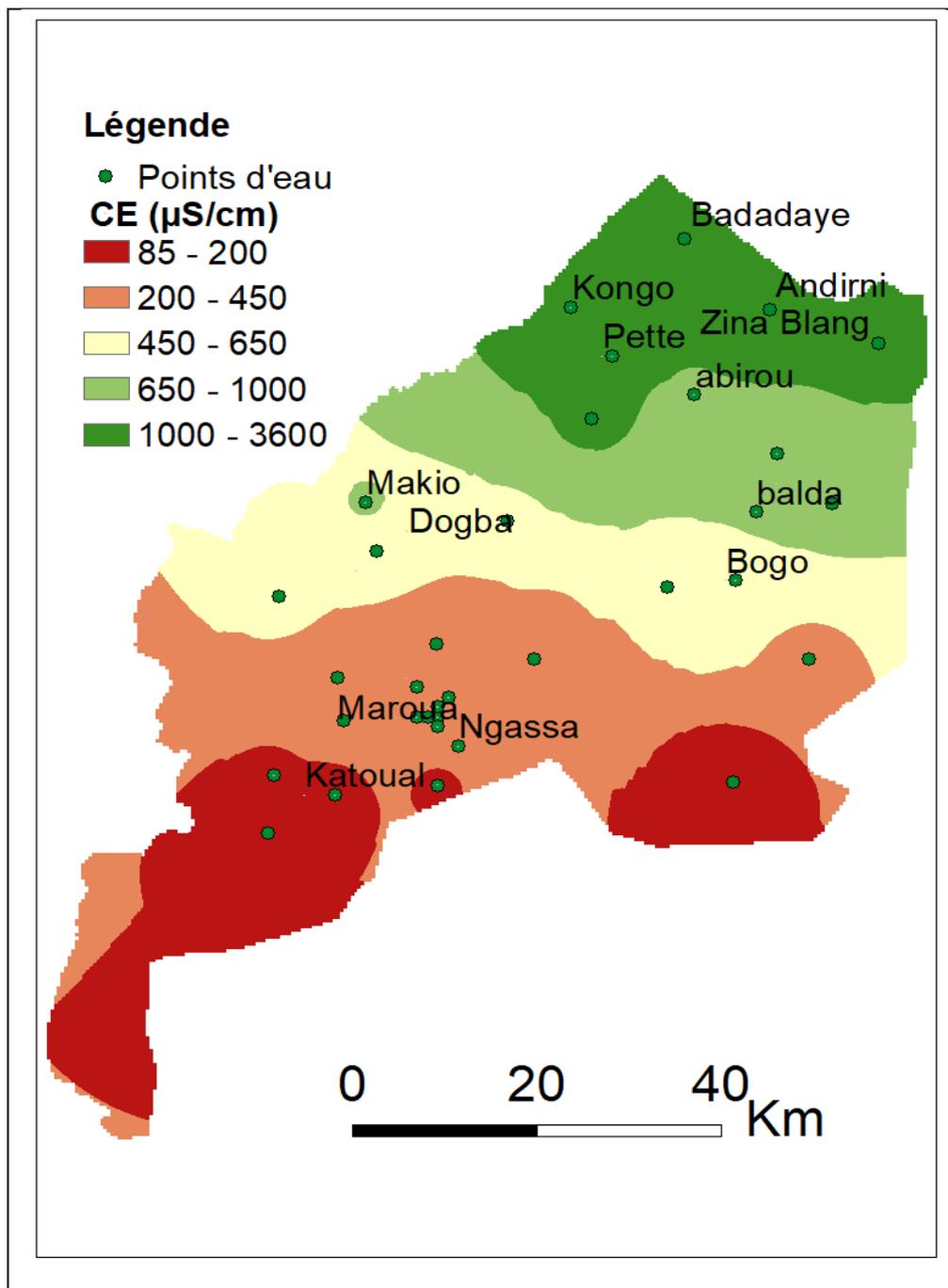


Fig.4 : Distribution spatiale de la conductivité

La concentration en nitrate observée dans les échantillons varie de 0 à 562,3 mg/l avec une moyenne de 65,87 mg/l qui est supérieure à la valeur prescrite par l'OMS (50mg/l). Toutefois, les valeurs des concentrations sont très étalées avec un écart type (148.18 mg/l) représentant un peu plus du double de la moyenne. L'ensemble des échantillons dont les valeurs en nitrate sont supérieures à la valeur prescrite par l'OMS représente 20%. Ces points d'eau sont tous situés dans la ville de Maroua. La

présence de forte concentration des nitrates dans cette zone serait liée en partie aux réactions d'oxydoréduction de la matière organique, aux excréments d'animaux associée aux effluents des fosses septiques due à un réseau d'assainissement vétuste [16].

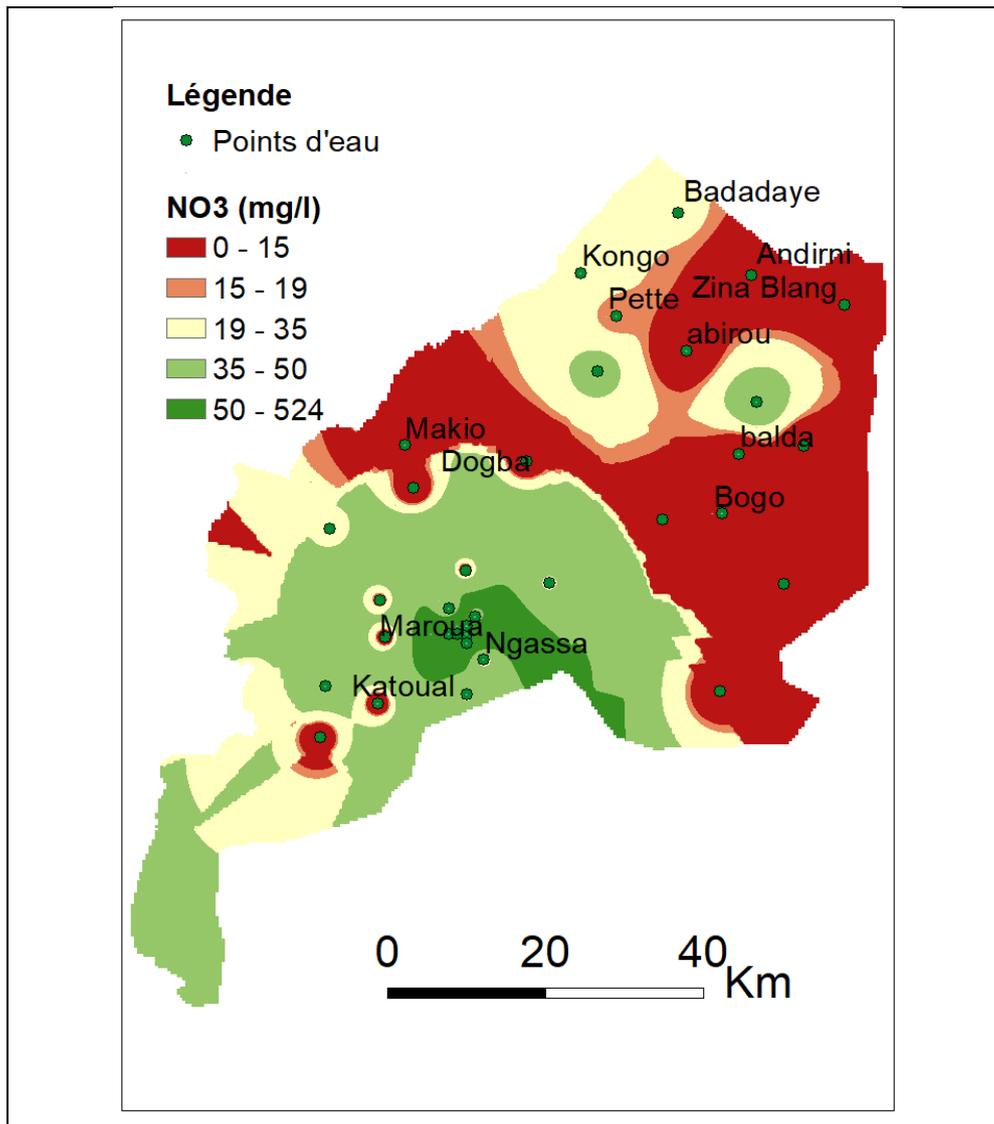


Fig. 5 : Distribution spatiale des nitrates

Les valeurs du pH varient entre 5,86 et 7,19 la moyenne est de 6,5. Tous les échantillons collectés ont des valeurs de pH comprises dans la limite désirable (6.5 – 8.5). La valeur moyenne obtenue indique que les eaux sont dans l'ensemble lé-

gèrement acides. Ceci démontre la prédominance de la dissolution des carbonates sous forme de HCO₃⁻. [3]. Le fluor présent dans les différents échantillons, est d'origine géogéniques. En effet, [9] identifie les micas contenus dans les granites comme principale

source du fluor dans les eaux souterraines à travers l'interaction roche-eaux souterraines dans un environnement alcalin. Sur les 32 échantillons analysés, 2 présentent des valeurs supérieures à celle préconisée par l'OMS. Toutefois, le fluor est dans 20 échantillons à des valeurs comprises entre 0,1 et 1.4 mg/l. La valeur moyenne et l'écart type sont respective-

ment de 0,32 et 0,47 mg/l. Deux zones sont identifiées comme source potentielle du fluor. Il s'agit de la bordure Nord Est et le Sud-Ouest de notre secteur d'étude. En effet, ces zones correspondent à la zone de socle constitué de granite et dont l'altération entraîne la libération du fluor dans les eaux.

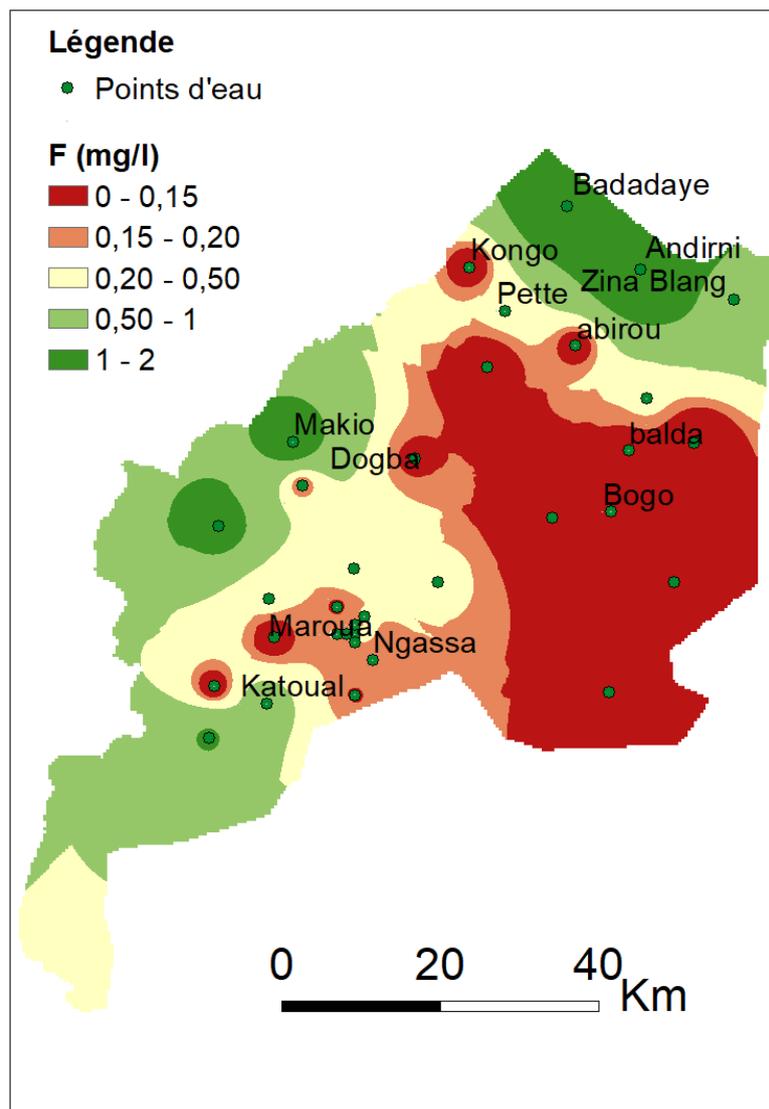


Fig. 6 : Distribution spatiale du fluor

Le chlorure dans la zone d'étude varie entre 0,62 et 239 mg/l avec une moyenne de 29,19 et un écart type de 60,21 mg/l. Tous les échantillons analysés présentent des valeurs inférieures à la norme prescrite par l'OMS (250 mg/l). Malgré le fait que les valeurs des différents échantillons soient inférieures à la valeur de l'OMS, il faut noter toutefois

que les valeurs les plus élevées sont rencontrés dans les échantillons prélevés dans ou proches des agglomérations. C'est le cas de ceux prélevés dans la ville de Maroua. L'origine de cet élément peut être dans ce cas liée non seulement à la dissolution de l'halite mais peut aussi avoir des origines anthropiques.

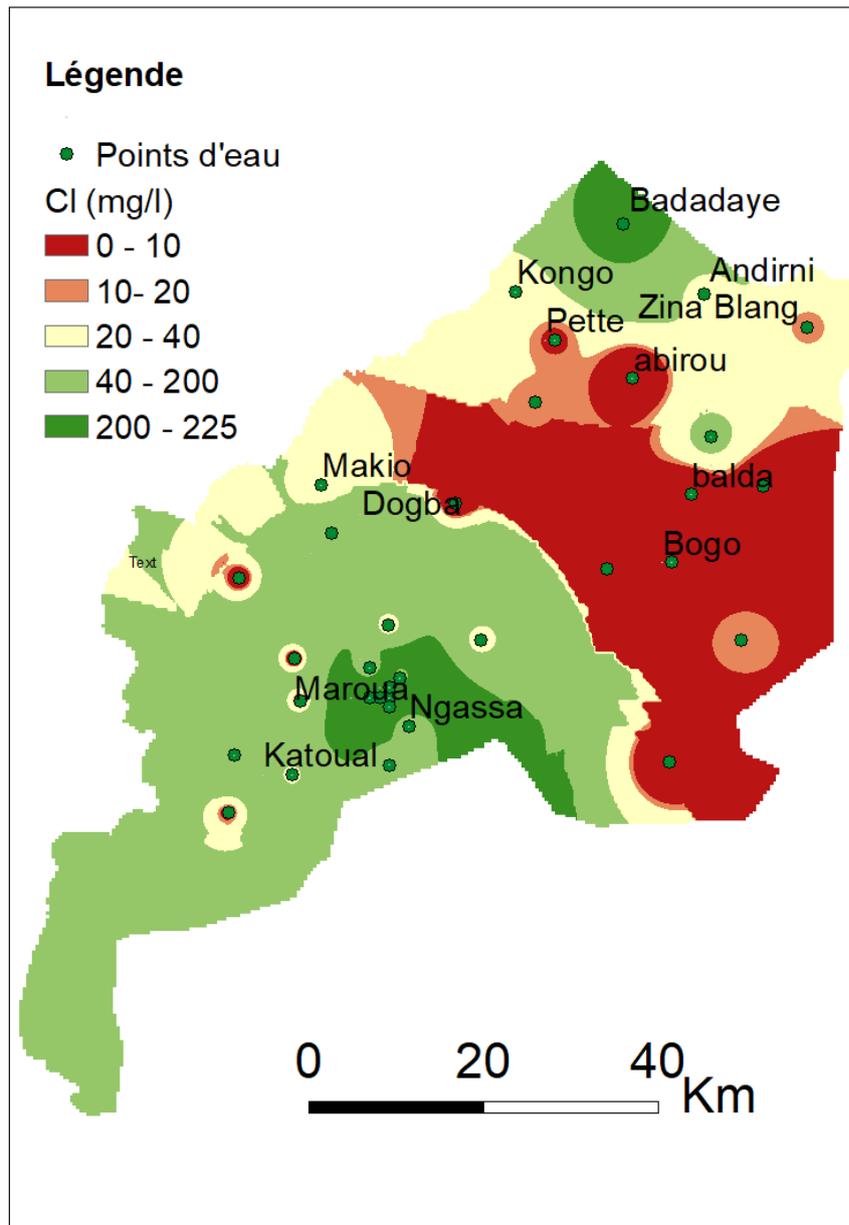


Fig. 7 : Distribution spatiale des chlorures

La concentration en sulfate (SO_4^{2-}) dans les différents échantillons varie entre 0,23 et 136 mg/l avec une moyenne de 34, 20 mg/l. Tous les échantillons ont des valeurs en sulfate inférieure à la limite prescrite par l'OMS. A l'image des chlorures, la

représentation spatiale des échantillons riches en sulfates montre que les plus importantes concentrations sont enregistrés dans la zone de Maroua et à la bordure nord de notre zone d'étude. Les sulfates auraient donc les mêmes origines que les chlorures.

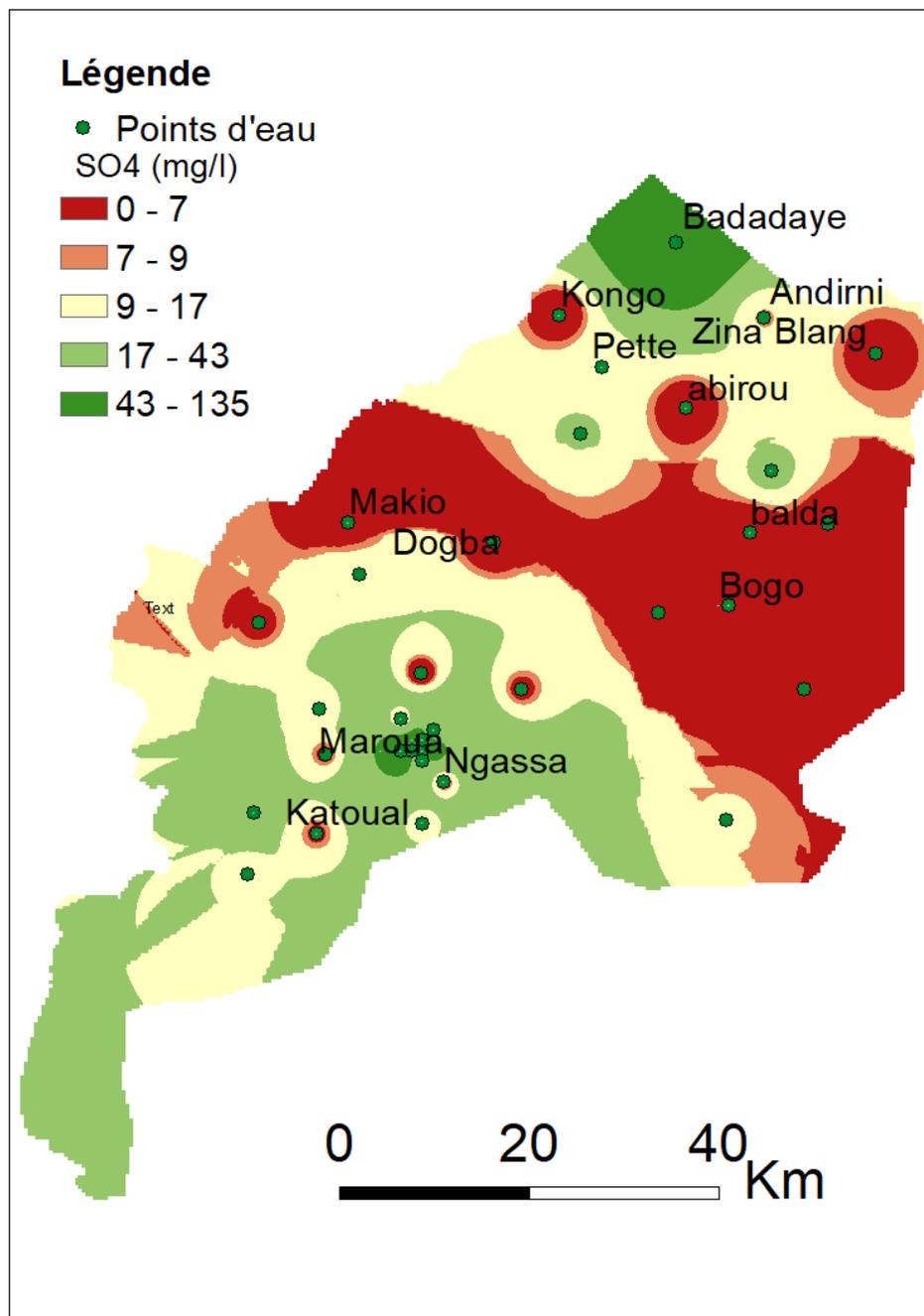


Fig. 8 : Distribution spatiale des sulfates

Les valeurs en potassium dans les échantillons, sont comprises entre 0,21 et 19,87 mg/l. La concentration moyenne et l'écart type sont respectivement de 3,87 et de 4,46 mg/l. Les valeurs de concentration dans 4 échantillons sur 32 excèdent la norme OMS qui de 12 mg/l. Au-delà de leur origine géogénique due à

l'altération des feldspaths potassiques, la présence à des taux anormalement élevés du potassium dans les eaux prélevées à Maroua et ses environs peuvent également provenir de l'utilisation des fertilisants dans les maraîchages de saison sèche.

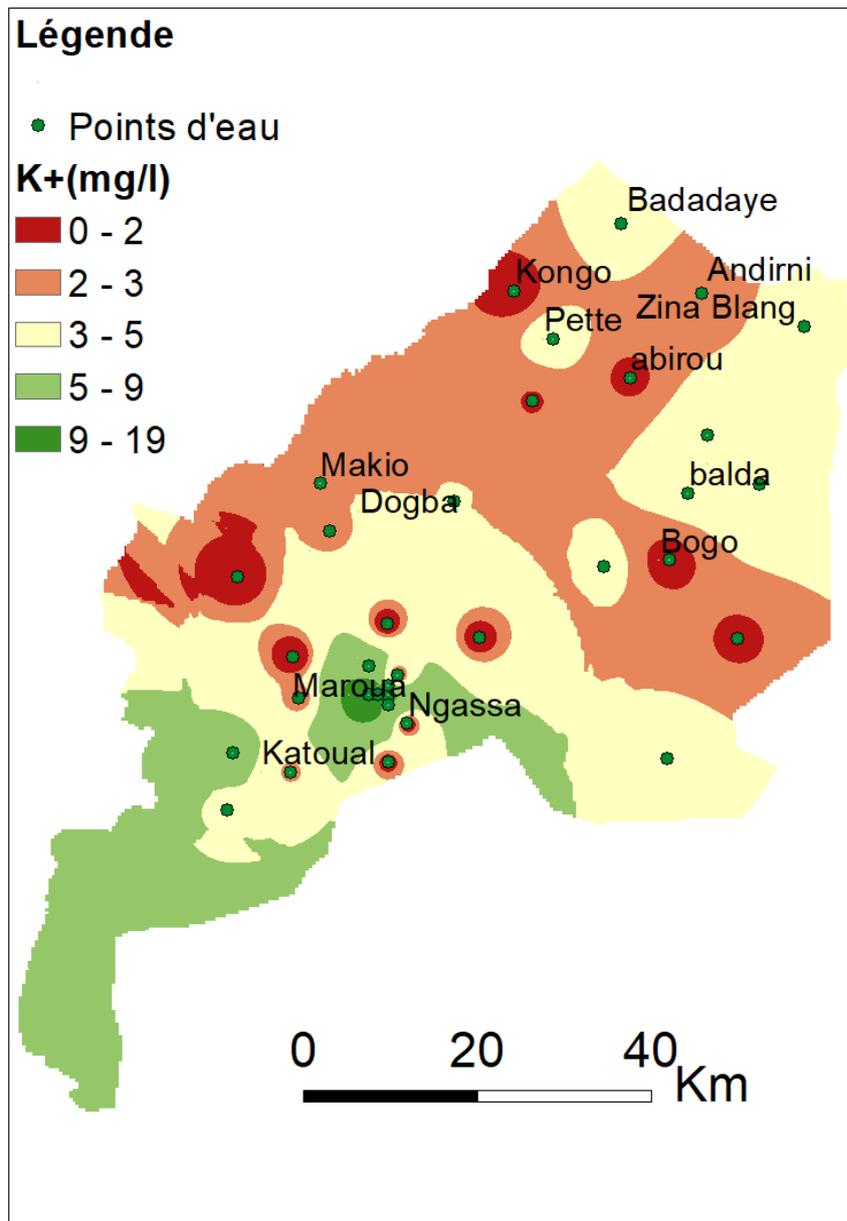


Figure 9 : Distribution spatiale des Potassium

3.2. Les zones à risque d'utilisation d'eau de consommation

La figure 10 présente la carte des différentes zones de contamination. Il y a deux principales zones à risque d'utilisation d'eau destinée à la consommation. La zone I représentée sur la carte en rouge est fortement contaminée en nitrate et donc l'utilisation des eaux doit être assujettie à un traitement préalable. Les forages et puits dans ces zones affichent des valeurs de nitrate 10 fois plus importantes que celle préconisée par la norme OMS (50mg/l). Dans la même zone les valeurs de la conductivité vont également au-delà de 1000 μ S/cm. Ces zones sont circonscrites dans la ville de Maroua fortement urbanisée et aussi au nord de la zone d'étude. Quant à la zone II (couleur orange), elle est principalement localisée autour de la première. Ses eaux présentent un risque modéré d'utilisation en qualité d'eau de consommation. Les valeurs en nitrates mesurées dans cette partie sont au-tour de 50mg/l. Par contre dans les autres zones, il y'a aucun risque d'utilisation de leurs eaux pour la consommation.

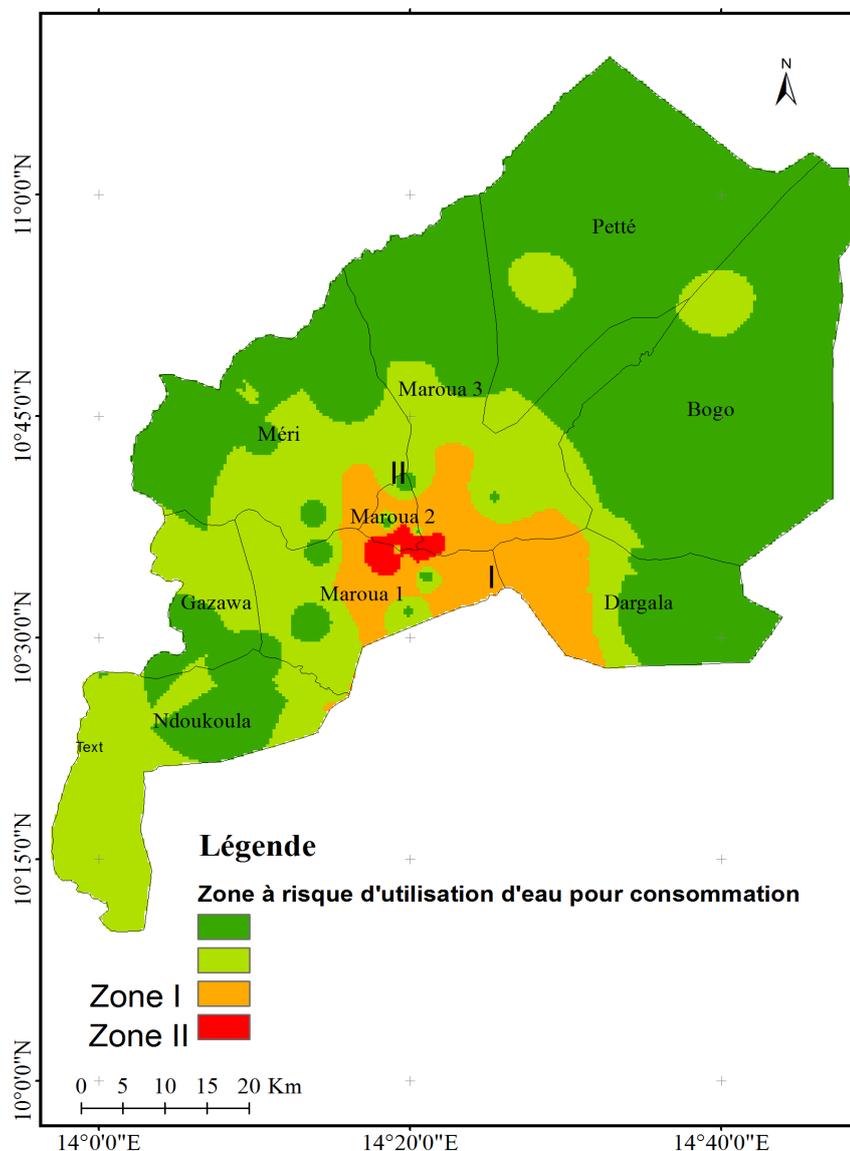


Fig. 10 : Zone à risque d'utilisation d'eau pour consommation

3.3. Les zones à risque d'utilisation d'eau pour l'irrigation

L'évaluation des eaux pour l'irrigation dans notre zone d'étude à base du paramètre SAR (sodium absorption ratio), indique que 25% des échantillons analysés affichent des valeurs supérieures à 10.

En effet, une eau caractérisée par un SAR de plus de 10 aura une tendance à produire une accumulation de sodium dans le sol qui peut être préjudiciable à la croissance de la plante. Lorsque la con-

centration du sodium est très élevée dans les eaux d'irrigation, il tend à être absorbée par les particules d'argile à travers le processus d'échange cationique des ions Mg et Ca [2]. Ce processus entraîne la réduction de la perméabilité du sol et par conséquent sa capacité de drainage du fait de sa faible porosité.

La figure 11 présente donc des zones à risque d'utilisation d'eau pour l'irrigation. Deux zones sur quatre sont identifiées : La zone I dont le SAR est compris entre 18,1 et 26 a une eau de qualité médiocre et la zone II et dont le SAR est supérieur à 26 a une eau de mauvaise qualité.

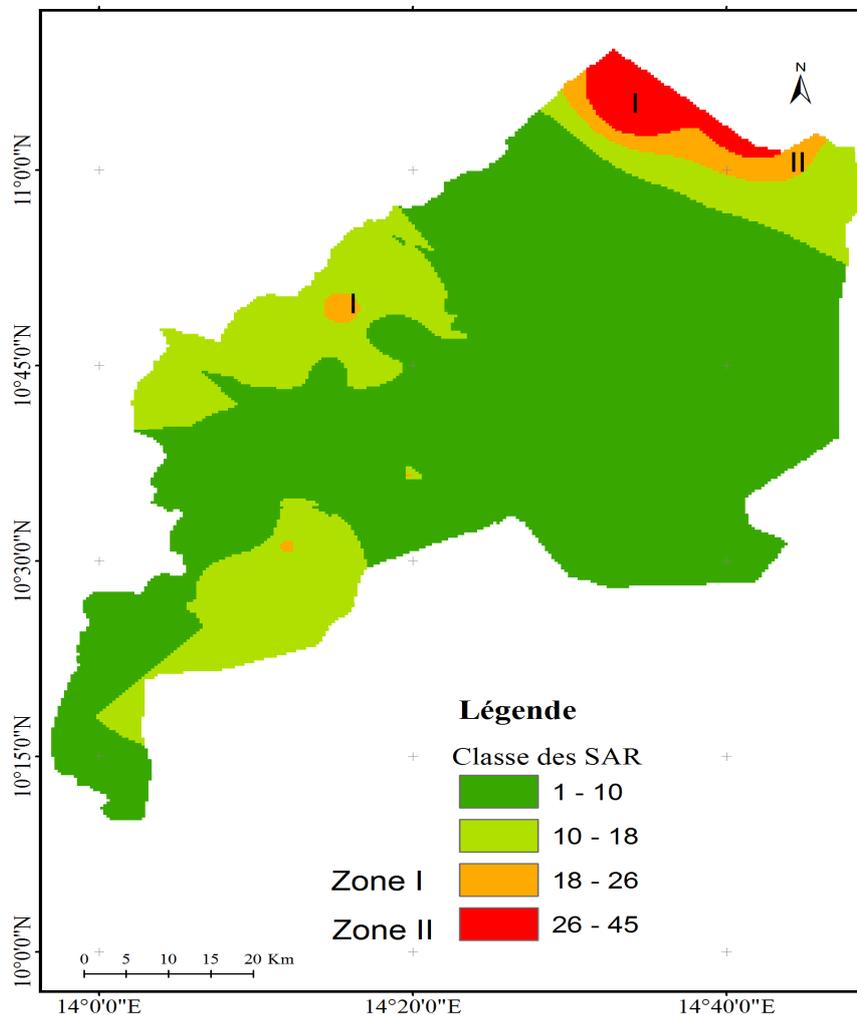


Fig. 11 : Zone à risque d'utilisation d'eau pour l'irrigation

IV. CONCLUSION

La qualité des eaux souterraines dans le Département du Diamaré région de l'Extrême Nord du Cameroun a été évaluée. Il ressort de l'étude que

sur trente-quatre échantillons prélevés, 25% de puits et forages sont inappropriées à la consommation tandis que les eaux de 11% des puits et forages présentent des risques quant à leur utilisation pour l'irrigation. La réalisation des cartes de distribution

des différents indicateurs de qualité a permis de délimiter des zones potentielles à risque d'utilisation d'eau qui pour la plus part sont situées dans les villes et ses environs.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements à l'Agence de l'Energie Atomique, à l'Institut de Recherches Géologiques et Minières et à la Commission du Bassin du Lac Tchad pour avoir financé l'analyse et la mise à notre disposition des données.

REFERENCES

- [1] A.A. Ahmed, & M.H. Ali (2011) Hydrochemical evolution and variation of groundwater and its environmental impact at Sohag, Egypt, Arab Journal of Geoscience, (4), pp. 339-352.
- [2] Abderamane H. ,Ketchemen-Tandia B. , Nlend B. Y. and Arrakhais A. B. (2016)- Hydrogeochemical and isotopic characterization of the groundwater in the Dababa area (Chad). AJEST Vol. 10(12), pp. 451-466, December 2016.
- [3] Adams S, Titusa R, Pietersen K, Tredoux G, Harris C (2001) Hydrochemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo. South African Journal of Hydrology, 241, 91–103.
- [4] Biscaldi R (1970). Carte Hydrogéologique de la plaine du Tchad. Nappe phréatique Echelle : 1/200000, notice explicative. B.R.G.M.68 YAO 003.
- [5] Cheo A. E., Hans-Jurgen V., Lyonga M. R. (2013) Vulnerability of water resources in northern Cameroon in the context of climate change. Environ Earth Sc. 70:1211-1217.
- [6] Detay M, Bernardi A, Emsellem Y, Pellegrini G, Vergnet M, Aubrac G, & Borchiellini S (1989) Carte Hydrogéologie - Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun. Institut de Recherche pour le Développement; Yaoundé, Cameroun et Ministère de la Recherche Scientifique et Technique, Institut National de Cartographie, Paris.
- [7] Detay M. (1987) Prospection et identification des aquifères: Reconnaissance préliminaires et méthode d'implantation des ouvrages par étude de terrain et photo-interprétation. Session internationale de formation au Cefigre : Exploitation et gestion de ressources en eau souterraine.
- [8] Ekodeck G. E. (1976) Nature et comportement géochimique des formations superficielles gonflantes du Nord-Cameroun. Th. 3^e cycle, Univ. de Grenoble, 182 p.
- [9] Fantong, WY, Satake H, Ayonghe SN, Aka FT. Kasuyoshi A (2008) Hydrochemical controls and usability of groundwater in the semi-aride Mayo Tsanaga River Basin: Far north province, Cameroon. J Environ Earth Sci.doi:10.1007/s00254-008-1629-x.
- [10] Faure W, Fontes JC, Gischler CE, Mook WG, Vogel JC (1970) Un exemple d'étude d'hydrogéologie isotopique en pays semi-aride, le bassin du lac Tchad. Journal of Hydrology 10,141-150; North- Holland Publishing Co., Amsterdam.
- [11] Gac JY (1980) Géochimie du bassin du lac Tchad. Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, n°123,p 251.
- [12] H. Ahn, & H. Chon (1999) "Assessment of groundwater contamination using geographic information systems," Journal of Environmental Geochemistry and Health, (21) pp.273-289.
- [13] Ketchemen-Tandia B, Mohammad B, Takounjou-FouepeA, Ngo Boum-Nkot S, Nlend B Y, Garel E, Celle-Jeanton H, Huneau F (2016) Shallow groundwater from the far north of Cameroon (southern Lake Chad): revisiting a 20 years survey of hydrochemistry and stable isotopes. EGU General Assembly 2016-9201, Session HS8.2.7 From aquifer characterization to ground water management.
- [14] Moasheri, S.M. Tabatabai, N. Sarani, & Y. Alai, "Estimation spatial distribution of sodium adsorption ratio (SAR) in groundwater's using ANN and geostatistics methods, the case of birjand plain, Iran," International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences, 2012
- [15] Naah E (1990) Hydrologie du Grand Yaéré. Thèse Doctorat d'Etat (in French) Univ.de Yaounde. p 327

[16] Ngounou Ngatcha B, Mudry J, Sarrot RJ (2007) Groundwater Recharge from Rainfall in the Southern Border of Lake Chad in Cameroon. *World Applied Sciences Journal* 2 (2): 125-131

[17] Ngounou Ngatcha B. (1993) Hydrogéologie d'aquifères complexes en zone semi-aride. Les aquifères quaternaires du Grand Yaéré (nord Cameroun). Thèse de Doctorat, Univ. de Grenoble I, 357 p.

[18] Olivry JC (1986) Fleuves et rivières du Cameroun. Collection "Monographies hydrologiques ORSTOM", n°9.

[19] Pias J (1970) Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent. In French. Cahiers ORSTOM, 43: p 407.

[20] Richard, L.A. (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. Handbook 60, US Dept. Agric., Washington DC, 160 p

[21] Seeber K (2013) 2nd Discharge Measurements at Chari, Logone and Koulambou River, Chad Report N° 6. Hanover-N'Djamena : BGR-CBLT.

[22] Sighomnou, D. (2004) Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolutions des ressources en eau. Thèse de Doctorat d'Etat. Univ. De Yaoundé. 291p

[23] T. Subraman, L. Elango, S.R. Damodarasamy, (2005) "Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chittar River Basin, Tamil Nadu, India" *Journal of Environmental Geology* (47), pp 1099-1110.

[24] Tillement, (1970) Hydrogéologie du nord Cameroun. Bull. DMG , 6, Yaoundé.

[25] UNESCO (1969) Synthèse hydrologique du bassin du lac Tchad. Projet UNESCO/Fonds Spécial, 1966-1969, Rapport technique présentant les principaux résultats des opérations, 217p

[26] World Health Organization (WHO) (2005) Guideline for drinking water quality, volume 1 and volume 2, Geneva