

Typologie hydrogéochimiques des eaux souterraines de l'extrême Nord-Est Algérien (Annaba-El Tarf)

Hydrogeochemical typology of groundwater in the North-eastern of Algeria (Annaba-El Tarf)

Samia Bounab^{1,3*}, Houria Bousnoubra², Abdelhamid Saou³

¹Université Badji Mokhtar, Faculté des Sciences de la Terre, Département de Géologie, BP12 Annaba, 23000, Algérie.

²Département d'Hydraulique, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

³Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement- Faculté de Technologie. Université A /Mira route de Targa Ouzemour, 06000, Bejaia, Algérie.

Soumis le : 19/03/2017

Révisé le : 23/07/2017

Accepté le : 26/09/2017

ملخص

أجريت هذه الدراسة لتقييم التصنيف الهيدروجيوكيميائي للمياه الجوفية في شمال شرق الجزائر (عنابة-الطارف). وقد تمت دراسة هذا التصنيف باستخدام الأساليب الإحصائية متعددة المتغيرات إلى جانب أساليب هيدروكيميائية التي ساعدت في تحديد السحن، أصل وحالة التوازن للمرحلة الصلبة مع الطور السائل وكذا نوع الاستخدام الممكن للمياه الجوفية. في هذا المنظور فقد أظهرت النتائج أن 82٪ من الماء هو كلوريدات الصوديوم يتبع بي بيكرينات الصوديوم والكالسيوم 15٪. النسب المولية: (Ca^{+2}/Mg^{+2}) , $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (Na^{+} + K^{+})$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$, و $(Ca+Mg+HCO_3)/(Na+Cl+SO_4)$ vs CE) توضح أن هذه النوعية الجيوكيميائية م مرتبطة بتحلل المعادن القابلة للتبخر، ترسيب الكربونات، تحول السيليكات وكذا تقدم مياه البحر. وأكد تحليل المكونات الرئيسية ACP هذه العلاقة. الرسم البياني لنسبة امتصاص الصوديوم (SAR) و (Na % مقابل EC)، صنفا إمكانية استعمال المياه للهيقي ولكن مع العلاج محددة في بعض الحالات.

الكلمات المفتاحية: عنابة-الطارف، المياه الجوفية، التصنيف الهيدروجيوكيميائي، مؤشر التشبع، بيان.

Résumé

Ce présent travail a été entrepris en vue d'évaluer la typologie hydrogéochimique des eaux souterraines de l'extrême Nord-est algérien (Annaba-El Tarf). Cette typologie a été étudiée par l'application des méthodes statistiques multi variées couplées aux méthodes hydro-chimiques qui ont permis de déterminer le faciès, l'origine et l'état d'équilibre de la phase solide avec la phase liquide ainsi que le type d'usage auxquels les eaux souterraines peuvent servir.

Dans cette perspective, les résultats montrent que les eaux sont à 82 % chlorurées- sodiques, secondés par les bicarbonatés-sodiques, calciques 15 %. Les rapports molaires $((Ca+Mg+HCO_3)/(Na+Cl+SO_4)$ vs CE), $((Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (Na^{+} + K^{+})$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$) et (Ca^{+2}/Mg^{+2}) illustrent que cette parenté géochimique est liée à la dissolution des minéraux évaporitiques, à la précipitation des carbonatés, à l'altération de silicates et à l'invasion marine. L'Analyse en Composantes Principales ACP a confirmé cette parenté. Le rapport d'adsorption du sodium (SAR) ainsi que le diagramme (%Na⁺ vs CE), qualifient les eaux pour l'irrigation mais avec un traitement spécifique dans certains cas.

Mots clés : Annaba-El Tarf, eaux souterraines, typologie hydrogéochimique, indice de saturation, diagramme.

Abstract

This work has been undertaken to assess the hydro-geochemical typology of groundwater in the north-eastern Algeria (Annaba-El Tarf). This typology has been studied by applying multivariate statistical methods coupled with hydro-chemical methods which have determined the facies, origin and the state of balance of the solid phase with the liquid phase as well as the type of use for which the groundwater can be used.

In this perspective, the results show that the water type dominant is chloride-sodium 82%, seconded by bicarbonate-sodium - calcium 15%. The molar ratios $(Ca^{+} Mg^{+} HCO_3^{-}) / (Na^{+} Cl + SO_4)$ vs CE), $((Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (Na^{+} + K^{+})$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$) and (Ca^{+2} / Mg^{+2}) illustrate that this geochemical relationship is dependent on dissolution of evaporitic minerals, on the carbonated mineral precipitation, alteration of silicates and marine invasion. The principal components analysis (ACP) confirmed this relationship. The sodium adsorption ratio (SAR) as well as the diagram (% Na⁺ vs EC) describes the water quality for irrigation but with a specific treatment in some cases.

Keywords: Annaba-El Tarf, groundwater, hydro-geochemical typology, saturation index, diagram.

* Auteur correspondant : bounsam2006 @yahoo.fr

1. INTRODUCTION

L'eau est un facteur limitatif clé du développement durable. Le sommet mondial sur le développement durable tenu à Johannesbourg en 2002 et les nations participantes se sont entendues sur un certain nombre d'actions. Ce plan d'action engageait entre autres les nations à atténuer les effets de la contamination des eaux souterraines.

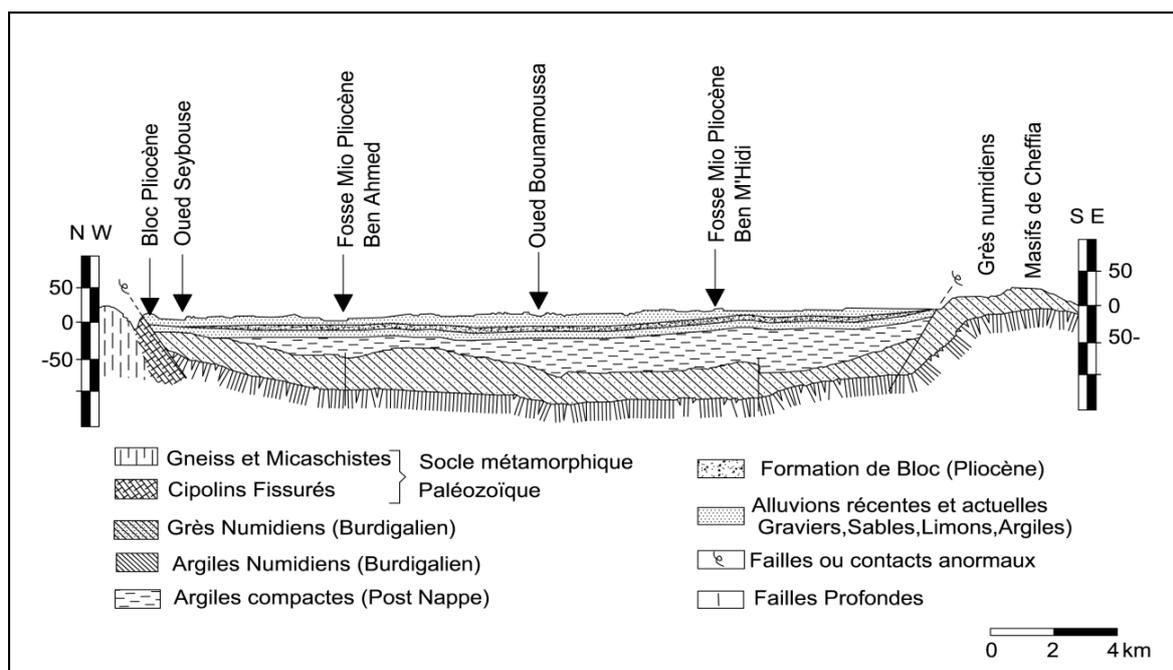
En Algérie, la plupart des nappes du nord ont atteint leurs limites d'exploitation [1], certaines peuvent supporter une surexploitation temporaire, mais avec un suivi régulier de la piézométrie, et de la qualité de l'eau. Cette recommandation est particulièrement importante pour les nappes côtières, dont la surexploitation entraîne leur contamination par les eaux salées [1]. La région Annaba El Tarf, totalise en moyenne un volume d'eau souterrain de 164 Hm³/an, en année moyenne et 41 Hm³ / an en année sèche. L'augmentation de la demande en eau est liée au développement des activités anthropiques et à l'accroissement des populations, pouvant engendrer des risques de contamination de la ressource souterraine qui représente la moitié du volume d'eau mobilisé [2, 3, 4]. La forte charge minérale de l'eau dans les aquifères côtiers est un phénomène très répandu et détériorant progressivement la qualité de l'eau, plusieurs travaux réalisés dans la région [5, 6, 7, 8] ont permis de mettre en évidence l'influence des activités anthropiques et de l'intensification des pompages sur la qualité des eaux des rivières et de l'aquifère.

La présente étude se veut par le biais des méthodes d'analyses statistiques multi-variées couplées aux méthodes hydro-chimiques en vue d'apporter une contribution à la caractérisation des eaux souterraines de la région et d'illustrer les phénomènes responsables de cette typologie.

1.1. Présentation de la zone d'étude

La région d'étude est située dans le Nord-est Algérien. Elle est comprise dans deux (02) wilayas Annaba - El-Tarf, une région à forte vocations agricole et industrielle. Elle est soumise à un climat méditerranéen froid et pluvieux en hiver avec un été sec et chaud.

Plusieurs études hydrogéologiques ont été effectuées sur le site [9, 10, 11]. Il s'avère que les formations du système aquifère sont constituées de sédiments relevant du Mio-pliocène et du Quaternaire des deux fosses d'effondrement (Ben Ahmed, Ben M'Hidi), leur remplissage s'est effectué de manière hétérogène, formant une alternance d'argile sableuse, de sables, de graviers et de travertins où l'on distingue huit (08) réservoirs d'importance inégales dont les principaux sont la nappe superficielle et celle des graviers (Fig. 1).



La nappe superficielle est contenue dans des formations sablo argileuses d'une épaisseur pouvant atteindre les 18 m. Elle inclue, dans la constitution de son substratum des lentilles de sables, des argiles grises compactes. Ces lentilles sont plus fréquentes à proximité de l'oued Seybouse et à la périphérie des affleurements des grès numidiens. La nappe phréatique est globalement libre sauf en quelques points où elle est captive sous des niveaux d'argiles. La nappe des graviers se situe au-dessous de l'aquifère superficiel, elle couvre l'ensemble de la zone d'étude. Elle est formée par des graviers, sables et galets du Plio-quaternaires et est contenue dans le bassin d'effondrement. Le toit de la nappe des graviers est de caractéristiques variables de perméable à imperméable, il est formé de sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles

2. MATERIEL ET METHODES

Les échantillons d'eau prélevés des 34 stations, représentés par des forages répartis sur 4 zones : Bouteldja, El Tarf, Les Salines et Barrahal (Fig.2) ont été analysés au laboratoire central (SEATA-Annaba) suivant les normes admissibles [12].

Les paramètres physico-chimiques (température, pH et conductivité) sont mesurés in-situ à l'aide d'un multi paramètres de terrain. Les échantillons ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène (deux flacons par échantillon, l'un pour l'analyse des sels nutritifs après addition de quelques gouttes de chloroforme, l'autre pour l'analyse des éléments majeurs (après addition de quelques gouttes d'acide nitrique). Les échantillons sont conservés dans une glacière pour la journée et les analyses ont été effectuées après 4 à 5 jours.

La méthodologie empruntée pour le traitement des résultats d'analyse est basée sur des méthodes statistiques multi-variables (XLSTAT) et des rapports caractéristiques couplées aux méthodes hydro-chimiques (logiciel Diagramme), à savoir le diagramme de Piper, Wilcox, Richards ainsi que le calcul des Indices de saturation par le programme PHREEQC.

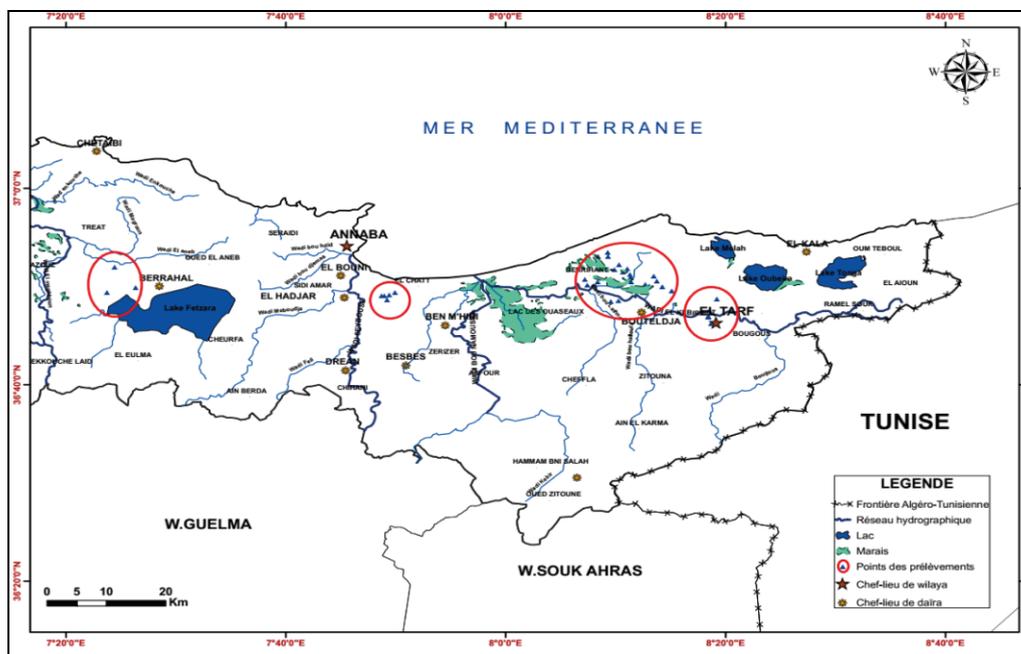


Figure 2 (modifié). Situation de la zone d'étude et localisation des points d'échantillonnages

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'étude (Tab.1) montrent des valeurs de la conductivité électrique oscillant entre 121 et 283 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'ensemble des forages de Bouteldja et des valeurs variant de 1975 à 2740 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les forages des salines, avec trois groupes d'éléments chimiques. Le premier présente des teneurs dominantes en Na^{+2}

et Cl⁻ (11-24 à 417-691 mg/l), suivis par le HCO₃⁻ et Ca⁺² (2-1,6 à 448-208 mg/l) et SO₄⁻² et Mg⁺² (5,7-1 à 413-100) respectivement.

Tableau 1- Statistiques des paramètres physico-chimiques

Paramètres physicochimiques	Unités	Normes OMS	Min	Max	Moy	Ecart-type
Température	°C	25	14,5	24,20	19,826	2,429
Ph		6,5 – 8,5	5,080	7,780	6,469	0,634
CE	µS /cm	180-1000	120,000	2740,000	641,909	882,167
NO ₂	mg L ⁻¹	0,2	0,010	0,110	0,028	0,022
NO ₃	mgL ⁻¹	≤ 50	1,100	21,260	7,644	5,257
Ca	mgL ⁻¹	200	1,600	208,420	45,543	68,295
Mg	mgL ⁻¹	150	0,910	99,650	18,907	28,498
Na	mgL ⁻¹	≤ 200	11,700	417,000	83,356	111,727
K	mgL ⁻¹	≤ 12	0,200	4,700	2,245	1,160
Fe	mgL ⁻¹	≤ 0,3	0,010	3,370	0,455	0,717
HCO ₃	mgL ⁻¹	450	2,220	448,350	107,872	165,230
Cl	mgL ⁻¹	≤ 250	24,820	691,330	134,091	189,675
SO ₄	mgL ⁻¹	≤ 250	5,760	412,800	57,057	96,748

3.1. Classification hydrochimique des eaux souterraines

Le diagramme de Piper (Fig. 3a) illustre une dominance du faciès chlorurés-sodiques de l'ordre de 82,35%, bicarbonatés-sodiques et calciques de 14,7% et sulfatés-sodiques de 2,94%.

La représentation graphique (Ca+Mg+HCO₃)/(Na+Cl+SO₄) vs CE (Fig. 3b) montre que la salinité des eaux de la région d'étude est en liaison directe avec l'effet des évaporites pour la plus part des échantillons prélevés.

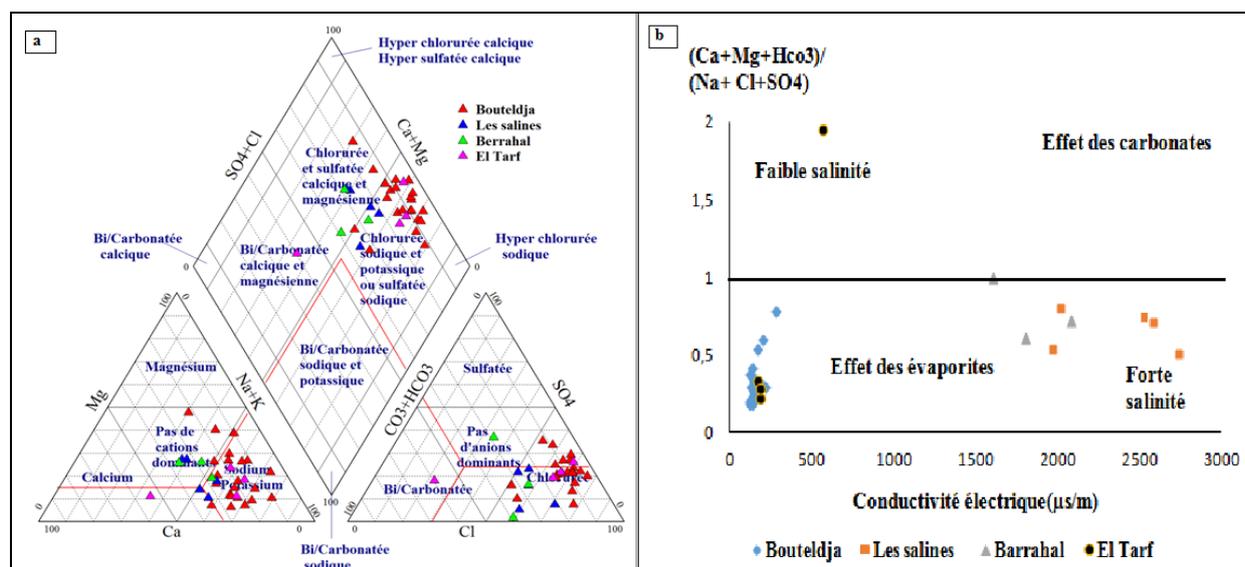


Figure 3. a : Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de la région Annaba-El Tarf.
 b : Représentation graphique (Ca+Mg+HCO₃)/(Na+Cl+SO₄) vs CE

Le rapport binaire du $(Ca^{+2} + Mg^{+2})-(Na^{+} + K^{+})$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$ permet de classer les eaux en quatre groupes [13].

Groupe 1 : Eaux de recharge de type Ca-HCO₃

Groupe 2: Eaux avec un excès en Ca-Mg-Cl ayant subi un échange ionique inverse

Groupe 3 : Eaux salées riches en Na-Cl qui sont soit des eaux de mer soit ayant séjourné en contact avec des formations salées.

Groupe 4 : Eaux ayant subi un échange ionique Na-HCO₃

Cette classification permet de mieux comprendre l'évolution des différents processus hydrogéochimiques des eaux souterraines [14, 15, 16], son application sur les eaux souterraines d'Annaba-El Tarf montre que la majorité des échantillons se trouve dans le groupe 3 et à moindre degré dans le groupe 2 (Fig. 4).

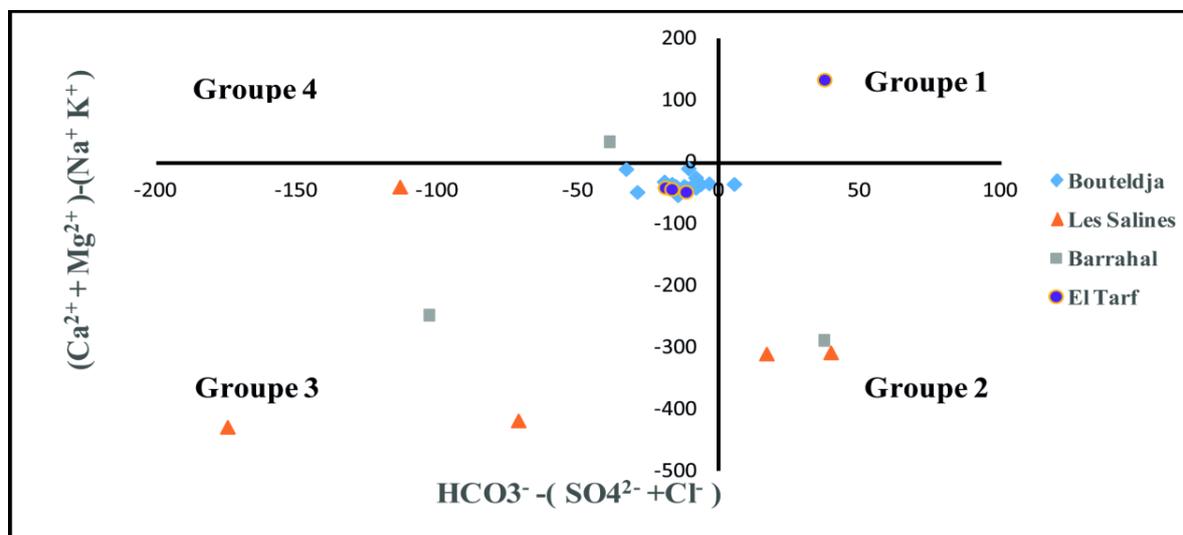


Figure 4. Représentation graphique $(Ca^{+2} + Mg^{+2})-(Na^{+} K^{+})$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$

Le groupe 1 contient un échantillon d'eau se trouvant dans la région d'El-Tarf, il s'agit d'eau faiblement chargée de type bicarbonaté calcique. Ceux du groupe 2 sont des eaux caractérisées par un excès en Ca^{+2} et Mg^{+2} au détriment de Na^{+} et K^{+} . La présence de Ca^{+2} et Mg^{+2} est dû à l'altération des minéraux riches en Ca^{2+} outre que les carbonates, probablement le gypse et/ou l'anhydrite. Les eaux du groupe 3 riches en NaCl, correspondent à des eaux ont probablement subi un échange ionique ayant abouti à une libération de Na^{+} ou à une contamination par les eaux de mer, ce sont des eaux de type chloruré sodique. Le groupe 4 contient un échantillon se trouvant dans la zone de Barrahal de type bicarbonaté sodique.

Le rapport Ca^{+2}/Mg^{+2} (Fig.5), renseigne sur l'origine de ces deux éléments à partir de la dissolution de la calcite et de la dolomite. Si ce rapport $Ca^{+2}/Mg^{+2} \leq 1$, on a une dissolution de la dolomite par contre un rapport plus élevé témoigne de la dissolution de la calcite [17], quand il est supérieur à 2, il indique la dissolution des minéraux silicatés [18]. La majorité des échantillons d'eau analysés (52,9%) ont des rapports supérieurs à 2, traduisant ainsi une dissolution des silicates suivie de celle de la calcite (26,7%) et de la dolomite (20,6%).

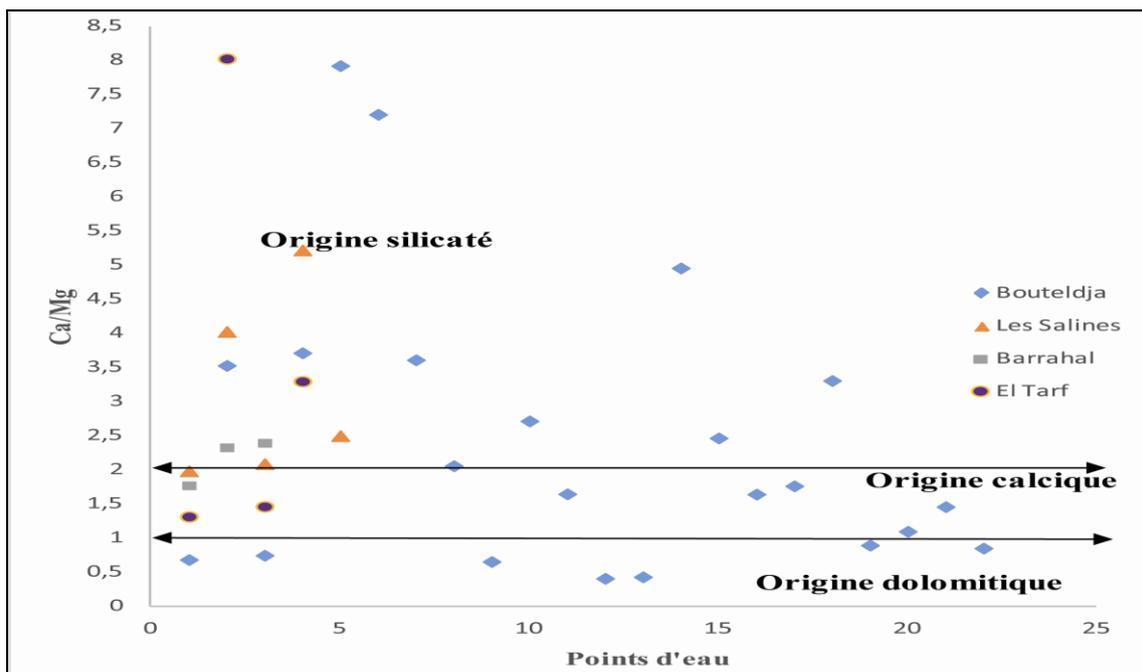


Figure 5. Rapport Ca^{+2}/Mg^{+2} versus points d'eaux

3. 2. Analyse statistique multi-variée

L'analyse en composante principale ACP a montré que le pourcentage des variances exprimées est de 62,99% pour le facteur 1, 11,489% pour le facteur 2 et 8,869 pour le facteur 3. La représentation sur les deux premiers facteurs illustre de manière satisfaisante la structure des nuages de points (Fig.6) et montre un regroupement des paramètres CE, HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , pH autour de l'axe factoriel F1 due essentiellement à la dissolution des formations carbonatées et évaporitiques. Le deuxième axe factoriel représente 11,49% de l'inertie totale, caractérisé positivement par Fe^+ et négativement par le NO_3^- , dont l'origine pourrait être due aux actions anthropiques (industrielle et agricole).

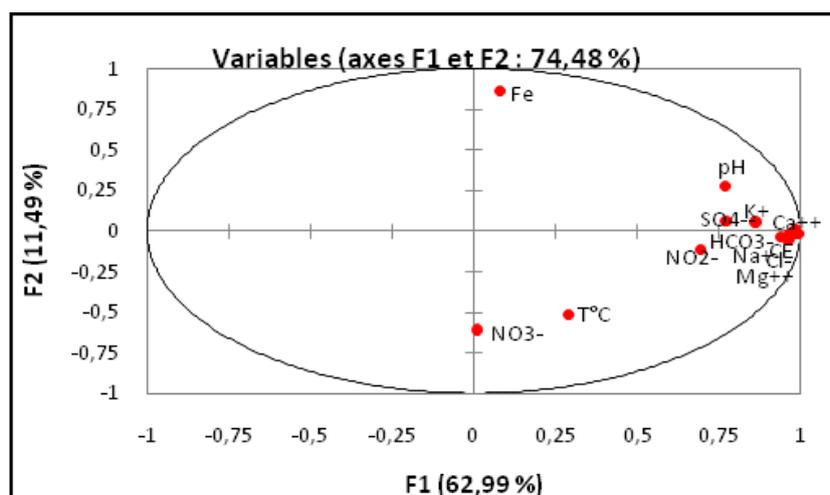
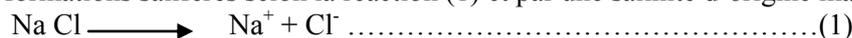


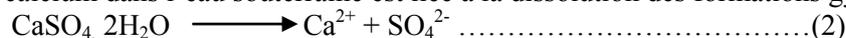
Figure 6. Analyse des variables sur le plan factoriel F1-F2

La matrice de corrélation (Tab.3) montre que la conductivité est très corrélée avec les ions, Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ($r > 0,8$).

La forte corrélation entre Na⁺ et Cl⁻ (r = 0,985) est liée à la dissolution de la halite par la présence des formations salifères selon la réaction (1) et par une salinité d'origine marine [6].



Une très forte corrélation entre Ca²⁺ et HCO₃⁻ (r = 0,988), indique que la calcite est une source importante de Ca²⁺. La relation de Ca²⁺ et SO₄²⁻ (r = 0,804), indique que la présence des ions sulfate et calcium dans l'eau souterraine est liée à la dissolution des formations gypseuses [7], selon la relation :



Par contre, une forte corrélation entre Ca²⁺ et le Na⁺ (r = 0,942), Mg²⁺ et Na⁺ (r = 0,871), peuvent être aussi expliquées par la dissolution des silicates, qui est une source probable de Na⁺ dans les eaux souterraines ainsi que l'échange de base entre le Ca²⁺ ou Mg²⁺ et Na⁺.

Une très forte corrélation entre Ca²⁺ et Mg²⁺ (r = 0,931) indique que la dissolution de la calcite et la dolomite est un important processus de contrôle de concentrations de Ca²⁺ et de Mg²⁺ dans les eaux souterraines. Les origines de calcium sont comparables à celles du magnésium. Ils peuvent provenir aussi de la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse [19], selon les réactions :



Le tableau 3 indique la matrice de corrélation entre les variables.

Tableau 3- Matrice de corrélation entre les variables

Variables	T°C	pH	CE	HCO ₃ ⁻	Fe ⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
T°C	1												
pH	0,086	1											
CE	0,290	0,734	1										
HCO ₃ ⁻	0,299	0,786	0,969	1									
Fe ⁺	0,262	0,188	0,062	0,053	1								
Cl ⁻	0,314	0,677	0,977	0,916	0,078	1							
NO ₂ ⁻	0,126	0,383	0,693	0,578	0,042	0,745	1						
NO ₃ ⁻	0,053	0,005	0,015	0,069	0,375	0,038	0,021	1					
SO ₄ ²⁻	0,114	0,653	0,772	0,776	0,055	0,689	0,351	0,036	1				
Ca ²⁺	0,243	0,772	0,984	0,988	0,068	0,940	0,623	0,021	0,804	1			
Mg ²⁺	0,242	0,673	0,944	0,917	0,058	0,895	0,641	0,076	0,775	0,931	1		
Na ⁺	0,349	0,684	0,973	0,932	0,039	0,985	0,706	0,009	0,665	0,942	0,871	1	
K ⁺	0,351	0,646	0,841	0,821	0,166	0,851	0,593	0,055	0,515	0,808	0,768	0,852	1

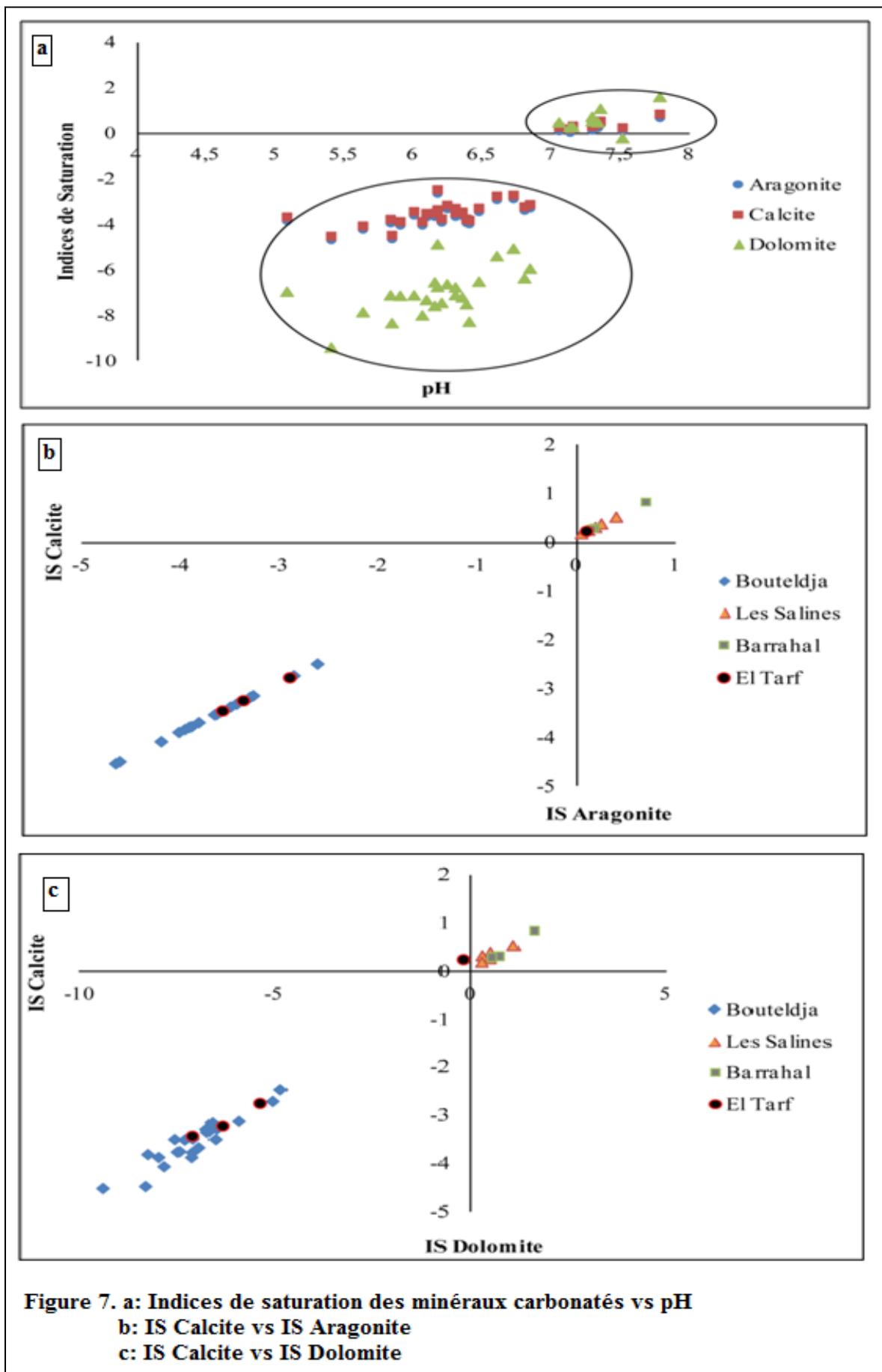
3.3. Indices de saturation(IS)

Le programme géochimique PHREEQC [20], nous a permis de calculer les indices de saturation de la calcite, de l'aragonite, de la dolomite, du gypse, de l'anhydrite, et de l'halite (Tab. 4). Ces indices sont saturés par rapport à la calcite, la dolomite et l'aragonite. Les minéraux carbonatés tendent à se précipiter par leur sursaturation dans les régions des salines et Berrahal et sont plutôt sous-saturés dans les régions de Bouteldja et El Tarf. Par conséquent, toutes les eaux sont sous-saturées vis-à-vis des principaux minéraux évaporitiques (halite, gypse et anhydrite) ce qui favorisera leur dissolution.

Tableau 4 - Indices de saturation des eaux souterraines de la région Annaba-ElTarf.

Zone	Variable	Minéraux carbonatés			Minéraux évaporitiques		
		Calcite CaCO ₃	Dolomite CaMg(CO ₃) ₂	Aragonite CaCO ₃	Anhydrite CaSO ₄	Gypse CaSO ₄ ·2H ₂ O	Halite NaCl
Les Salines	Minimum	0,190	0,260	0,040	-2,030	-1,800	-5,560
	Maximum	0,530	1,070	0,390	-1,280	-1,040	-5,170
	Moyenne	0,338	0,510	0,192	-1,564	-1,330	-5,452
	Ecart-type	0,130	0,330	0,134	0,326	0,327	0,160
Bouteldja	Minimum	-4,520	-9,410	-4,670	-4,150	-3,900	-7,930
	Maximum	0,840	1,590	0,690	-1,160	-0,930	-5,170
	Moyenne	-2,489	-5,004	-2,637	-3,022	-2,785	-7,134
	Ecart-type	1,795	3,516	1,795	0,864	0,862	0,911
Barrahal	Minimum	0,290	0,520	0,140	-2,700	-2,480	-5,880
	Maximum	0,840	1,590	0,690	-1,160	-0,930	-5,550
	Moyenne	0,480	0,943	0,333	-1,823	-1,597	-5,740
	Ecart-type	0,312	0,569	0,309	0,792	0,797	0,171
El- Tarf	Minimum	-3,440	-7,120	-3,590	-3,420	-3,180	-7,640
	Maximum	0,240	-0,220	0,090	-1,970	-1,730	-6,990
	Moyenne	-2,298	-4,778	-2,448	-3,023	-2,783	-7,403
	Ecart-type	1,715	3,119	1,715	0,703	0,703	0,286

Les indices de saturation de la calcite, l'aragonite et la dolomite augmentent régulièrement avec le pH (Fig.7a). Cette augmentation du pH est due à l'alcalinité produite par la dissolution des carbonates. Les IS de ces minéraux suivent une tendance linéaire positive ce qui permet de dire que les phases minérales sont en train de changer avec une tendance similaire suite au même processus hydrogéochimique (Fig.7b, 7c).



La représentation graphique IS gypse vs SO_4^- (Fig. 8) montre que l'équilibre des eaux souterraines avec les minéraux évaporitiques particulièrement gypse est contrôlé par la concentration d'ion SO_4^- .

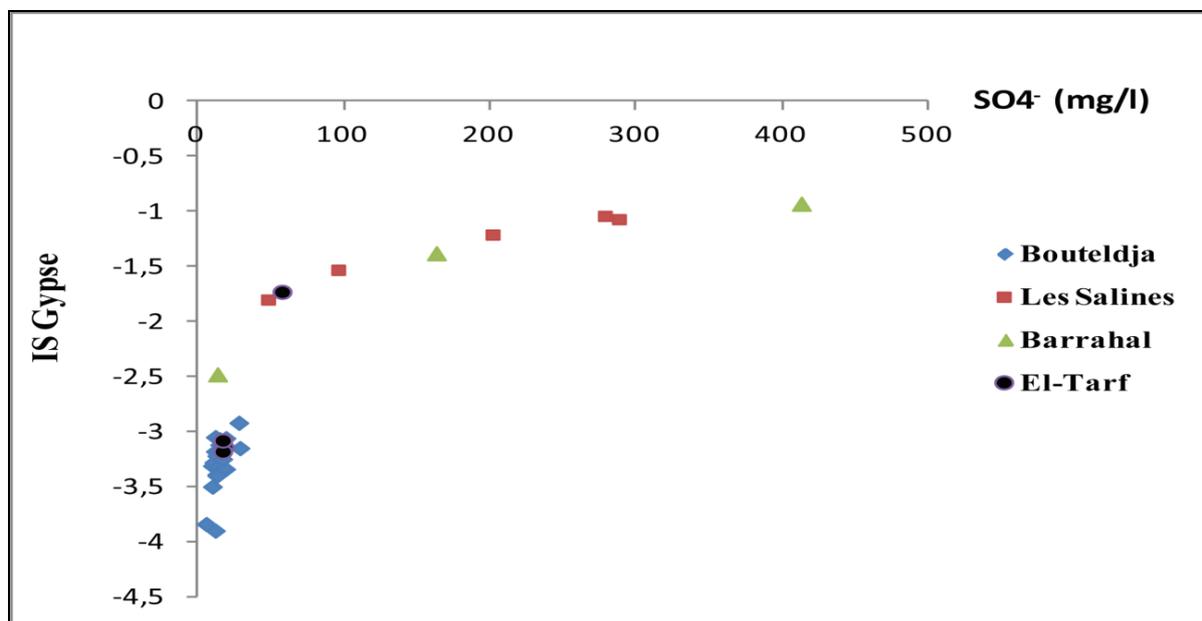


Figure 8. Représentation graphique IS Gypse vs SO_4^-

3. 4. Aptitude des eaux pour l'irrigation

L'aptitude des eaux pour leur utilisation en agriculture à partir de la représentation graphique SAR (Sodium Absorption Ratio) vs conductivité (Fig. 9a), montre que la majorité des échantillons (70,6%) sont situés dans la classe C1S1 (faible salinité et faible alcalinité), ce sont les eaux des forages de Bouteldja et El Tarf. La classe C2S1 (salinité moyenne et faible alcalinité) caractérise les échantillons (23) de Bouteldja et (33) d'El Tarf. La classe C3S1, C3S2 représente 14,7% des échantillons renferment des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée. La classe C4S2 représente les eaux médiocres fortement minéralisées d'une sodicité plus importante susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. Cette classe représente 8,82% des échantillons, en l'occurrence (23, 25,27) des salines.

Le diagramme de Wilcox, fondé sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau, exprimée en pourcentage ($\%Na^+$) (Fig. 9b), illustre cette caractérisation et montre que (76,5%) des eaux représentent une excellente qualité pour l'irrigation, ce sont les eaux du massif de Bouteldja - El Tarf. Les eaux moyennement minéralisées (la classe bonne) représentent 8,7% des échantillons. La classe médiocre regroupe les eaux plus minéralisées que celles des classes précédentes, représente 11,76% des échantillons, ce sont les eaux des forages des salines.

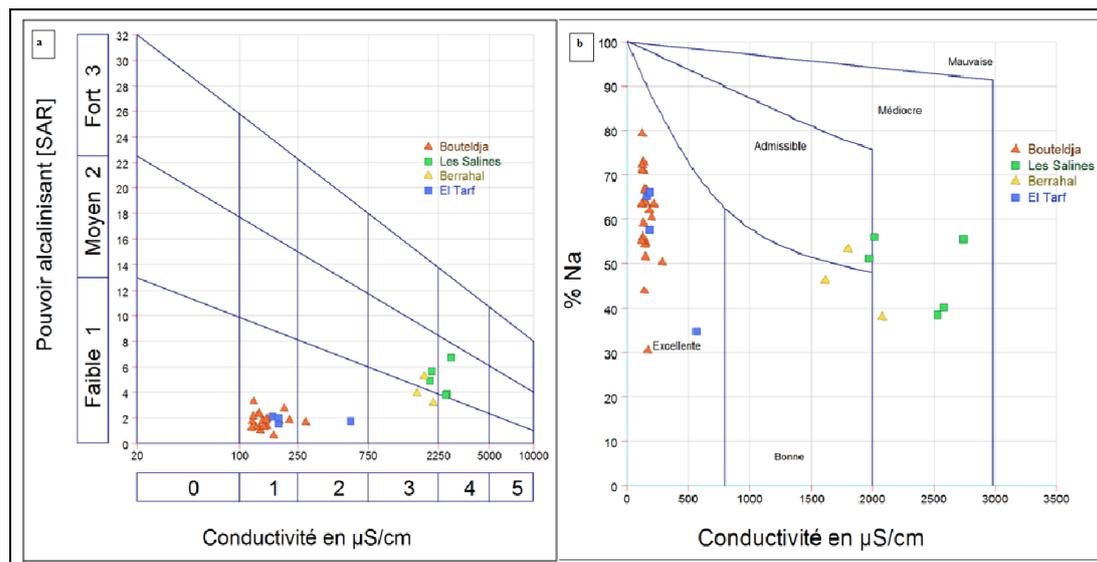


Figure 9. Classification des eaux d'irrigation :

a : Diagramme de Richards b : Diagrammes de Wilcox

4. CONCLUSION

L'application des outils hydrogéochimiques couplés avec des méthodes statistiques dans l'étude des eaux souterraines de la région Annaba-El Tarf ont permis d'apporter une contribution à la typologie de ces eaux. Les analyses chimiques montrent que les eaux de la région d'étude sont respectivement chlorurées sodiques (82%), bicarbonatés-sodiques et calciques (14,7%). L'eau acquise cette typologie en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, la précipitation de minéraux carbonatés, l'altération de silicates et de l'intrusion marine. L'application de l'analyse en composante principale a révélé que le facteur 1 est celui de la minéralisation alors que le facteur 2 est celui de la pollution agricole et industrielle, les deux facteurs expliquent près de 75% de la variance. Les différentes valeurs des indices de saturation illustrent cette typologie, les minéraux carbonatés (calcite, dolomite et aragonite) sont saturés pour quelques échantillons et sous-saturés pour d'autres, par conséquent les eaux sont sous-saturées vis-à-vis des principaux minéraux évaporitiques (halite, gypse et anhydrite). La représentation des échantillons sur le diagramme de Wilcox et de Richards qualifient ces eaux pour l'irrigation mais avec un traitement spécifique dans certains cas.

REFERENCES

- [1] Mehdid A., 2010. Etude d'actualisation du plan national de l'eau (Vol.2) Europe Aid/126155/D/SER/DZ. 121p.
- [2] Hani A., 2003. Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse de Doctorat. Université d'Annaba, Algérie.
- [3] Kherici N., Bousnoubra H., Derradji E.F. & Maoui A., 2009. Mobilization and management of the water resources in the northeast of Algeria. *Geographia Technica* (02), pp.41-49.
- [4] Bounab S., Kherici Bousnoubra H., 2014. Évaluation quantitative des eaux souterraines de la région Annaba-El Tarf (Nord-est algérien). 3ème Colloque International Eau Climat, Hammamet Tunisie.
- [5] Kherici N., 1993. Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-La Mafragh) Nord-est Algérien. Thèse de Doctorat en sciences, Université d'Annaba, Algérie. 170p.
- [6] Djabri L., 1996. Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la seybouze. Origines géologiques industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat en Sciences, Université d'Annaba, Algérie. 216p
- [7] Debieche T.H., 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourd) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouze-Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, France. 235p

- [8] Djorfi S., Fougou A., Toumi F., Majour H., Belloulou L. & Mahia M., 2010. Origine de la pollution des eaux souterraines dans une zone humide cas de la Plaine d'Annaba (Algérie). *International Network Environmental Management Conflicts. Santa Catarina-Brasil* 1(1), 58-64.
- [9] Gaud., 1976. Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba-Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation). Rapport de l'ANRH, Algérie. 151P.
- [10] Nafaa K., 1985. Nappes superposées en région côtière, Hydrodynamique et hydrochimie (aquifère d'Annaba) Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Technologies de Lille, France. 159p.
- [11] Ramdani A., 1996. Hydrogéologie et mobilisation de la nappe dunaire de Bouteldja. Magistère, Université d'Annaba, Algérie. 138p.
- [12] Rodier J., 1989. L'analyse de l'eau. Degrément. 9ème Editions, Paris.
- [13] Chadha D.K., 1999. A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeol Journal* 7(5):431-439.
- [14] Karmegam U., Chidambaram S., Prasanna M.V., Sasidhar P. & Manikandan S., 2010. A study on the mixing proportion in groundwater samples by using Piper diagram and Phreeqc model. *Chinese Journal of Geochemistry* 30(4), 490-495.
- [15] Vandenhede A., Courtens C., William de Breuck L., 2010. Freshsalt water distribution in the central Belgian coastal plain: an update. *Geol Belg* 11(3): 163-172.
- [16] Thilagavathi R., Chidambaram R., Prasanna S., Thivya M.V., Singaraja C., 2012. Study on groundwater geochemistry and water quality in layered aquifers system of Pondicherry region, southeast India. *Appl Water Sci* DOI 10.1007/s 13201-012-0045-2.
- [17] Maya A.L., Loucks M.D., 1995. Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the Central Wasatch Range, Utah. *Journal of Hydrology*, 172, 31-59.
- [18] Katz B.G., Coplen T.B., Bullen T.D. & Davis J.H., 1998. Use of chemical and isotopic tracers to characterize the interaction between groundwater and surface water in mantel dKarst. *Groundwater*, 35(6)1014-1028.
- [19] Saou A., Maza A. & Seidel J.L., 2012. Hydrogeochemical Processes Associated with double salinization of water in an Algerian Aquifer, Carbonated and Evaporitic, *Pol.J. Environ. Stud.* Vol. 21, N° (4) 10113-1024.
- [20] Plummer L.N., 1976. WATEQ-A fortran IV version of WATEQ A, *computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters*. Washington D.C.U.S Geol-Surv-Water Res