

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/347496269>

Agriculture and Forestry Journal Salinité et son origine dans les eaux souterraines des grés Carbonifères de Kenadsa dans le Sud-Ouest Algérien

Article · December 2020

DOI: 10.5281/zenodo.4310963

CITATIONS

0

READS

268

2 authors:



Lynda Chebbah

Centre universitaire de Mila

14 PUBLICATIONS 30 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Kabour Abdesselem

Centre universitaire de Mila

18 PUBLICATIONS 56 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Impact of dam retention on the local climate regime: Case of beni haroun (East Algeria). [View project](#)



kenadsa [View project](#)

Salinité et son origine dans les eaux souterraines des grès Carbonifères de Kenadsa dans le Sud-Ouest Algérien

Lynda CHEBBAH*, Abdesselem KABOUR

Département Sciences et Technique, Centre Universitaire de Mila, BP 26 Mila - 43000, Algérie.

*Corresponding author: cheblyn@yahoo.fr

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 30 March 2020

Accepted after corrections
26 June, 2020

Keywords:

Groundwater, salinity, arid
region, Kenadsa

ABSTRACT :

Salinity Origin in the Groundwater of the Kenadsa Carboniferous Sandstone (Southwest Algeria)

The arid regions are characterized by the scarcity of water resources which is a factor hindering socio-economic and agricultural development, in some cases the available resources have a quality, and even more problematic is the salinity. The Kenadsa Carboniferous sandstone aquifer (southwestern Algeria) is a hydro-stratigraphic unit exploited mainly for agriculture. This development option is supported by the national fund for agricultural development, particularly in the arid regions of Algeria. A hydrochemical study was conducted on the Carboniferous sandstone aquifer, in 2009 and 2011, to identify the physicochemical quality of these groundwaters where a high level of salinity is found (mean = 4.16 mg / l), mainly related to the mineral dissolution of evaporites (halite) present in the study area.

RESUME

Pour promouvoir un développement socio-économique et agricole important, les régions arides ont besoin de ressources en eaux, qui sont rares et limitées ; dans certain cas, ces ressources présentent une salinité, qui les rendent utilisables avec certaines restrictions et parfois inutilisables. L'aquifère du grès Carbonifère de Kenadsa (Sud-ouest de l'Algérie) est une unité hydro-stratigraphique exploitée principalement pour l'agriculture. Cette option de développement est soutenue par le fond national de développement de l'agriculture, particulièrement dans les régions arides en Algérie. Une étude hydrochimique a été menée sur l'aquifère du grès Carbonifère, en 2009 et 2011, elle comprend une analyse statistique, l'examen des relations ioniques, une cartographie de la salinité et l'utilisation des indices de saturation ; afin d'identifier la qualité physico-chimique de ses eaux souterraines où on constate un niveau élevé de salinité (Moy.= 4,16 mg/l), lié principalement à la dissolution minérale des évaporites (l'halite) présentes dans la région d'étude.

Mots-clés : Eaux souterraines, salinité, région aride, Kenadsa

1. Introduction

La variation de la qualité des eaux souterraines est fonction des paramètres physiques et chimiques, qui sont fortement influencés par les formations géologiques traversées et les activités anthropiques (Al Sheibani, 2008). Dans une zone aride typique comme le Sahara algérien, les eaux souterraines constituent une source majeure d'eau pour la plupart des utilisations (Roche, 1973). Les ressources en eaux souterraines dans la région de Kenadsa sont les eaux des aquifères situées principalement dans le calcaire du Turonien, les grès du Carbonifère, ainsi que les aquifères alluvionnaires peu profonds, situées au niveau de l'Oued Messouar. L'eau de ces aquifères est utilisée pour l'irrigation et les usages domestiques (consommation) pour la plupart des régions rurales avoisinantes (Chavaillon, 1964; Roche, 1976).

A cause de la croissance de la population et de l'utilisation des eaux souterraines, le rendement des puits et des sources reste insuffisant, associée à la mauvaise qualité de ces eaux, dans la majorité des puits et des sources, deviennent des facteurs limitant l'exploitation des nappes souterraines dans la région de Kenadsa. Un nombre important de puits a été abandonné en raison du problème de qualité, la salinité très élevée semble être responsable de la mauvaise qualité de l'eau souterraine de l'aquifère Carbonifère de Kenadsa (Chebbah et al., 2009 ; Kabour et Chebbah , 2017 ; Nasri et al., 2018).

Dans cette étude on exposera les faciès hydro-chimiques et les relations entre les différents éléments chimiques par les relations ioniques, ainsi que la répartition spatiale de la salinité des eaux souterraines, et enfin une approche de la minéralisation de ces eaux par l'utilisation des indices de saturations, ce qui permettra de définir l'origine de la salinité des eaux de l'aquifère du grès Carbonifère dans la région de Kenadsa.

2. Matériels et méthodes

2.1. Présentation du site d'étude

La zone d'étude est située dans le Sud-ouest de l'Algérie, dans la région de Kenadsa (31° 33' 32" nord, 2° 25' 24" ouest) (Figure. 1). Elle est caractérisée par un climat aride où la précipitation annuelle moyenne est de

102 mm (les moyennes mensuelles sont : Septembre : 8,8 mm, Octobre :15,58 mm, Novembre : 13,6 mm, Décembre : 7,7 mm, Janvier :6,46 mm, Février :10,41 mm, Mars : 12,24 mm, Avril : 4,57 mm, Mai : 11,27 mm, Juin : 6,6 mm, Juillet : 1,89 mm, Aout : 3,21 mm.) et la température moyenne est de 21°C, pour les mesures prises à la station de Bechar, sur la série 1988-2010.

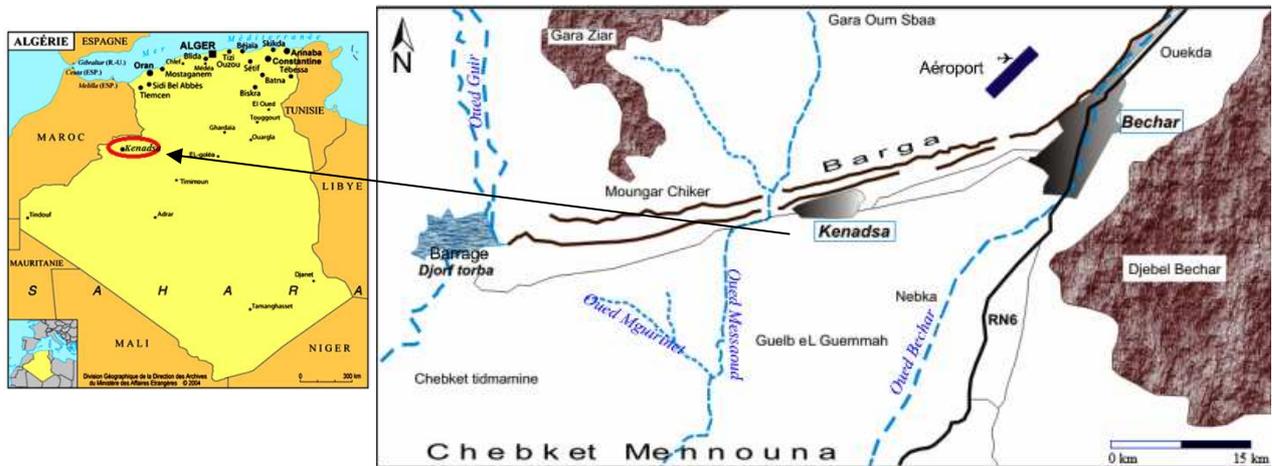


Figure 1. Situation géographique de Kenadsa (SW Algérien)

2.1. Géologie et hydrogéologie

Les unités géologiques dans la zone d'étude et leurs propriétés hydrogéologiques sont décrites ci-dessous. Du bas vers le haut, la série est composée de: Carbonifère, Crétacé, Quaternaire ancien (Figure.2) (Delau, 1951; Roche, 1973; Idrotecneco, 1979).

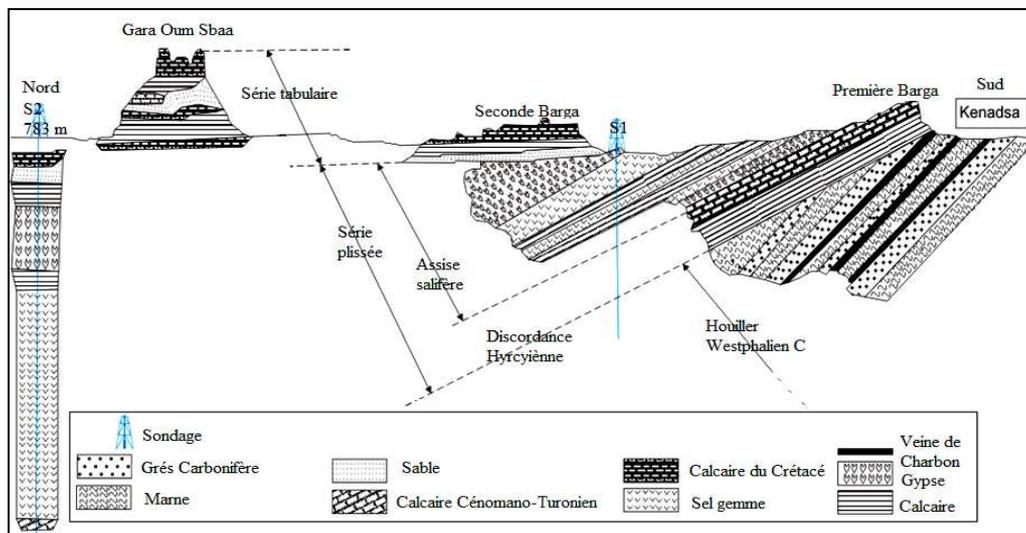


Figure 2. Coupe schématique de la géologie et du style tectonique de la région de Kenadsa

Il existe deux types d'aquifères dans la zone d'étude: le premier est de type profond formé par l'aquifère des grès du Carbonifère et celui du calcaire du Turonien. Le second est peu profond restreint aux alluvions des deux principaux Oueds (Oued Bechar et Oued Messouar) (Idrotecneco, 1979 ; Chavaillon, 1964). L'aquifère du grès Carbonifère est composé de formations de grès marneux, de rares intercalations calcaires, et du grès quartzitique du Westphalien et du Stéphanien (alternances de grès et de marnes) (Delau, 1951; Roche, 1973; Idrotecneco, 1979).

Les grès et le calcaire marneux sont disposés en bancs de 20 à 40 m, intercalés en groupes de 5 à 15 bancs, dans les marnes schisteuses, sur 25 à 30 m de profondeur, cet aquifère se prolonge dans la zone entre Djebel Béchar et Kenadsa, où il est exploité par divers puits. L'aquifère du grès Carbonifère donne naissance à un certain nombre de sources, environ neuf (09) les plus connues sont: Ain Sheik, Ain Dir et Ain Sidi Mebarek (Delau, 1951; Roche, 1973; Idrotecneco, 1979 ; Chavaillon, 1964).

La direction de l'écoulement du grès Carbonifère est généralement NE-SW, avec une certaine conformité entre le sens d'écoulement et l'orientation des failles existantes dans la zone d'étude. La faille de Ksiksou, remplie de formation imperméable, qui joue le rôle d'un obstacle limitant l'eau de cette nappe, du côté de oued Bechar (Delau, 1951; Roche, 1973; Idrotecneco, 1979; Chavaillon, 1964; Mekkaoui, 2000); Au Nord Est, de la zone d'étude, où le flux se déplace vers l'oued Bechar, dans la partie sud-ouest, où l'Oued Bechar alimente l'aquifère (Figure. 3) (Chebbah et al., 2009).

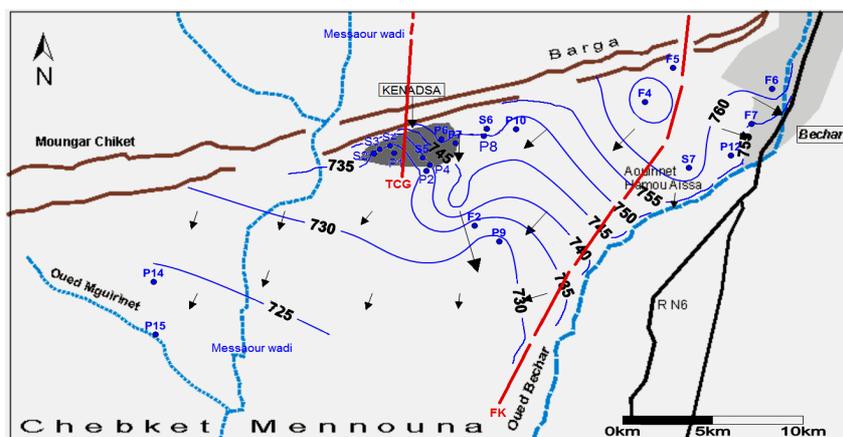


Figure 3. Carte d'inventaire des points d'eau et piézométrie (2009) de l'aquifère des grès Carbonifère de Kenadsa (Chebbah et al., 2009). (Légende : TCG : Tracé de la coupe géologique; FK : Faille de Ksiksou).

Pour réaliser cette étude, des échantillons d'eau ont été prélevés dans l'aquifère du grès Carbonifère, en deux campagnes la première au mois de février 2009, sur 11 puits traditionnels, 06 sources et 05 forages (profondeur inférieure à 50 m), et la deuxième au mois de février 2011, sur 09 puits, 07 sources et 05 forages (fig. 3). Les échantillons ont été analysés dans le laboratoire de chimie de l'université de Bechar.

Les paramètres physico-chimiques analysés sont: le pH, la salinité, Eh (potentiel redox), la conductivité électrique (CE), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Sulfate (SO_4^{2-}), Chlorure (Cl^-), Nitrate (NO_3^-), Potassium (K), Sodium (Na), Bicarbonate (HCO_3^-), et le Bromure (Br^-) (pour la campagne de 2009 seulement), en respectant le protocole expérimental standard d'analyse, tel que la température de préservation des échantillons (4°C), le respect des temps de réaction et des dosages de réactifs utilisés (Rodier, 1996).

Le pH, Salinité, TDS (Total Dissolved Solids), Eh (potentiel redox), et la CE (Conductivité électrique) ont été mesurés par Potentiomètre (Consort 861 Hanna); le Calcium et le Magnésium ont été estimés par la méthode volumétrique: titrage complexométrique avec le sel disodique de l'éthylène - diamine tétracétique acide (EDTA); les Nitrates par Potentiomètre (électrode spécifique); les Sulfates par Spectrophotomètre (Jenway 6305), et le Sodium et Potassium par Spectrophotomètre à flamme (Jenway PFP7).

Notre objectif c'est de contribuer à l'étude de l'origine de la salinité des eaux du grès Carbonifère de Kenadsa par l'établissement de leur faciès chimiques, ensuite, une analyse statistique globale de leurs concentrations chimiques, avec comparaison de leurs moyennes avec les normes de potabilité de l'OMS (OMS, 2004), puis l'élaboration de la carte de la répartition spatiale de la salinité dans la région, suit alors, l'utilisation des rapports caractéristiques ($\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) - (\text{CE})$ et $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} - (\text{CE})$) et les relations ioniques (Na/Cl , Br/Cl), et enfin les indices de saturation (Calcite, Dolomite, Aragonite, Anhydrite, Gypse).

3. Résultats et discussions

3.1. Méthodes statistiques

Les compositions chimiques des échantillons des eaux souterraines de Kenadsa (2009 et 2011) ont été analysées statistiquement (Tableau.1). Où on remarque que ces eaux sont très minéralisées. En effet 100% des échantillons montrent des niveaux de CE variant entre 3,17 à 13,81 mS/cm, supérieurs à la norme de potabilité de l'OMS (OMS, 2004). Les ions Na^+ et Cl^- sont le cation et l'anion dominant. Ce sont les seuls ions qui dépassent 55 % du total des cations et des anions dans la plupart des puits et des sources, des pourcentages en valeurs moyennes, qui montrent également que l'ordre d'abondance relative des principaux cations dans l'eau souterraine de l'aquifère du grès Carbonifère est $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ pour 2009 et 2011, alors que celui des anions en 2009 donne $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$, et celui des anions en 2011 donne $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ (Kabour et Chebbah, 2017).

Tableau 1. Statistique globale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe des grés Carbonifère de Kenadsa

Eléments	Norme OMS	Février 2009					Février 2011				
		N	Ecart- type	Min	Max	Moy	N	Ecart- type	Moy	Min	Max
pH	7,0-8,5	22	0,55	7,17	9,09	7,90	21	0,37	7,46	6,95	8,30
Eh (mV)	/	22	26,34	-106,00	-11,00	-47,05	21	18,97	-25,00	-69,00	2,00
CE (mS/cm)	2,5	22	3,41	3,17	13,81	7,72	21	3,57	8,00	3,23	16,36
Ca ²⁺ (mg/l)	100	22	108,08	96,79	517,21	216,44	21	365,74	565,88	4,87	1500,78
Mg ²⁺ (mg/l)	50	22	54,36	75,24	244,75	129,39	21	273,40	456,50	53,20	1002,65
K ⁺ (mg/l)	12	22	13,72	3,78	60,03	15,24	21	12,11	16,83	5,62	61,61
Na ⁺ (mg/l)	150	22	527,80	579,82	2395	1392,27	21	642,08	1348,74	399,28	2891,60
Cl ⁻ (mg/l)	250	22	758,59	1087,50	3976	2279,33	21	970,73	2018,43	710	4331
HCO ³⁻ (mg/l)	250	22	54,69	207,40	420,60	324,79	21	72,03	372,39	268,40	9,09
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250	22	105,56	89,30	583,84	256,39	21	352,41	485,08	159,80	1852,45
NO ₃ ⁻ (mg/l)	20	22	69,33	0,63	282,78	91,52	21	6,44	21,51	11,60	33,76
Br ⁻ (mg/l)	/	22	22,11	1,2	87,5	27,21	/	/	/	/	/

Dans le tableau 1, on remarque que les valeurs moyennes du Na et Cl dépassent largement celles des normes de l'OMS, où on a respectivement Na moy = 1392,27 mg/l en 2009 et 1348,74 mg/l en 2011 (> 150 mg/l), et Cl moy = 2279,33 mg/l en 2009 et 2018,43 mg/l en 2011 (> 250 mg/l) ; ce qui induit une salinité moyenne très élevée de 4,16 mg/l (2009) et 4,48 (2011).

3.2. Carte de salinité

Les campagnes de mesures de la salinité des eaux souterraines du grés Carbonifère de Kenadsa ont permis de quantifier ce paramètre entre 1,50 et 7,90 mg/l en 2009 et entre 1,60 et 9,70 mg/l en 2011, et d'établir des cartes de sa répartition spatiale sur la zone d'étude (Fig. 3, 4), où on observe que :

- Sur les deux cartes (Figure 3 et 4) on a presque la même distribution des valeurs de la salinité, avec une légère augmentation des concentrations en 2011.
- La zone centrale et Ouest ont des valeurs de la salinité supérieures à 3 mg/l, influencée par l'alimentation des eaux souterraines par un flux qui arrive du Nord et traverse les formations salifères.
- Alors que dans la zone Est les concentrations sont inférieures à 2 mg/l, cette zone est alimentée par l'Oued Bechar avec des eaux moins salées, ce qui entraîne une dilution, et par conséquent une diminution de la salinité.

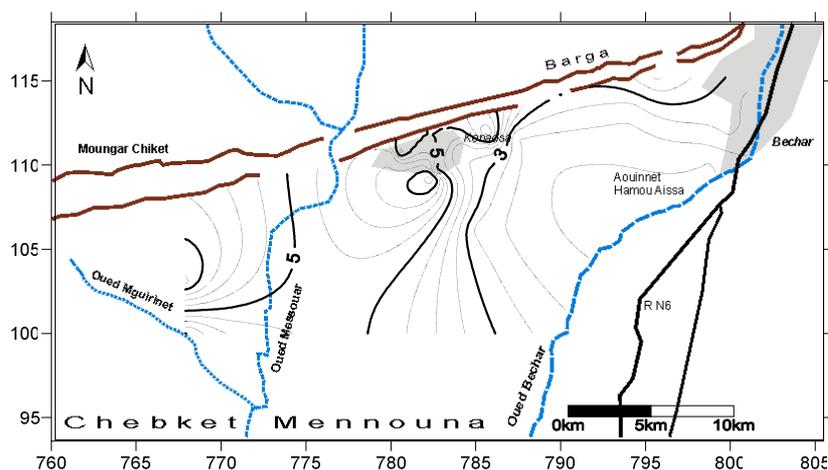


Figure 4. Répartition spatiale de la salinité(mg/l) (Février 2009)

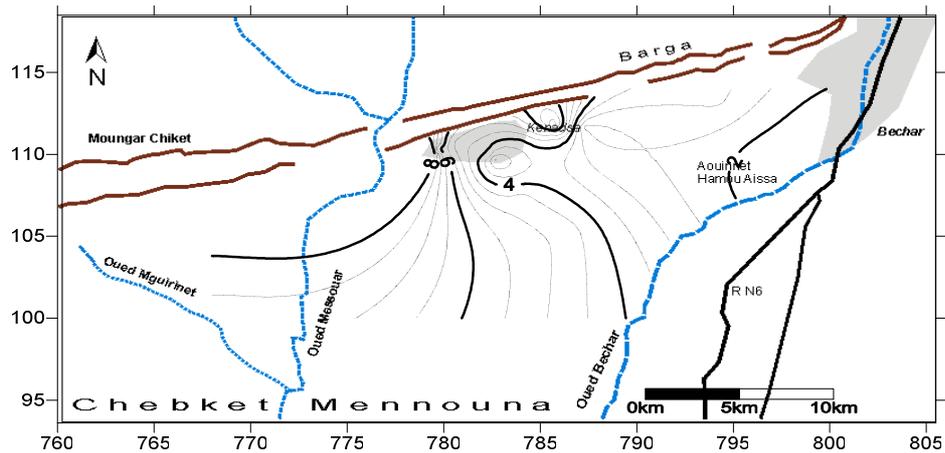


Figure 5. Répartition spatiale de la salinité (mg/l) (Fevrier 2011)

3.3. Les rapports caractéristiques des sources de salinité

Les rapports ioniques tel que : $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = f(\text{CE})$ et $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} = f(\text{CE})$, constituent des outils précieux dans l'investigation de l'origine de la salinité.

La projection des données chimiques des eaux souterraines des grès Carbonifère de Kenadsa (2009, 2011) dans ces graphes (Fig. 6 A et B) permet d'obtenir les interprétations suivantes :

a- La relation $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) - \text{Conductivité électrique (CE)}$

La projection permet de constater une distribution logarithmique du rapport en fonction de la conductivité. Deux pôles sont observés (Fig.6.A) : l'un carbonaté caractérisé par une dominance des ions HCO_3^- , avec des conductivités inférieures à 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, il englobe 28 % des points d'eau et l'autre représente le pôle évaporitique et affirme une dominance des ions Cl^- et SO_4^{2-} . Ce pôle apparaît pour les fortes conductivités (> 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et rassemble la totalité des points restant (72 %).

B- La relation $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} - \text{Conductivité électrique (CE)}$

Ce rapport nous permet de déterminer la manière selon laquelle évolue la dissolution des ions évaporitiques (Na^+ marqueur de l'halite et SO_4^{2-} marqueur du gypse) (meq/l) en fonction de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Le graphe de la figure 6.B montre que la totalité des points présente un rapport supérieur à 1, indiquant une dominance des ions salifères par rapport à ceux des gypses ; ce qui confirme la dominance du faciès chloruré sodique.

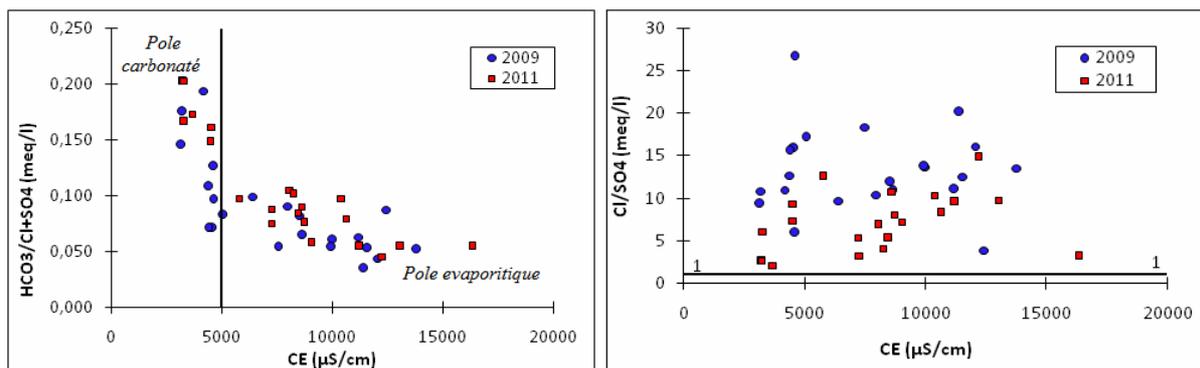


Figure 6. L'origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques, A : $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) - \text{Conductivité électrique (CE)}$; B : $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} - \text{Conductivité électrique (CE)}$

c- Relations ioniques entre Na^+ et Cl^-

Les relations entre les espèces dissoutes peuvent révéler l'origine des solutés et des processus qui ont généré la composition chimique de l'eau observée (Jalali, 2007). Le rapport ionique Na/Cl peut renseigner sur le mécanisme de salinisation et l'origine de la minéralisation dans les eaux étudiées (Borhane, 2010). Les ions Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} sont les solutés prédominants dans l'eau souterraine de Kenadsa. Un examen des relations stœchiométriques pourrait expliquer les quantités relatives de ces ions (Parrelo et al, 2008).

La représentation graphique de la relation Na-Cl a souvent pour but d'identifier les mécanismes d'acquisition de la salinité et des intrusions salines dans les régions semi-arides et arides (Alsheibani, 2008; Jalali, 2007; Wen et al., 2005). Les teneurs élevées en Na^+ et Cl^- détectées dans la plupart des échantillons peuvent suggérer la dissolution des sels de chlorure (halite), qui libère des concentrations importantes de sodium et de chlorure. Sur la figure 7, on observe une répartition assez homogène des points échantillonnés autour de la droite de dissolution de la halite, ce qui traduit une origine géologique du Cl pour 18 % des échantillons de 2009 et 14 % pour ceux de 2011 (situés sous la droite), alors que l'enrichissement en Na par l'effet du contact eau-roche correspond à environ 86% des échantillons de 2011 et 82 % de ceux de 2009 (situés sur la droite). Les halogénures comme la halite (NaCl) et les sulfates, comme le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) font partie des minéraux salifères les plus souvent impliqués dans les cas de salinisation par une réaction eau-roche (Jalali, 2007).

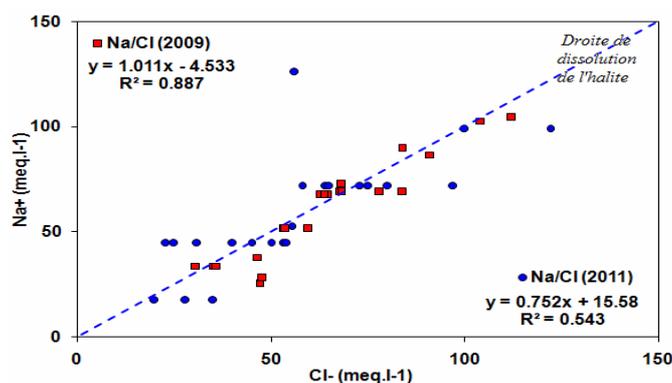


Figure 7. Le couple Na-Cl

d- Rapports ioniques (Br/Cl)

L'examen du rapport Br/Cl permet d'identifier les différentes signatures spécifiques aux sources de salinité (Klopmann, 2011 ; Leybourne et Goodfellow , 2007), et en particulier l'origine des chlorures (Fedrigoni et al., 2001 ; Bouroubi-Ouadfel et al., 2016 ; Zairi, 2008). Le bore est apporté naturellement dans les eaux par lessivage des roches ignées, des évaporites ou encore des roches volcaniques (Zairi, 2008).

L'ensemble des échantillons des eaux de la nappe des grès Carbonifère de Kenadsa (pour la campagne de 2009), présente un rapport Br/Cl très variable (moy = $5,65 \cdot 10^{-3}$, max = $1,83 \cdot 10^{-2}$; min = $3,22 \cdot 10^{-4}$) avec une distribution aléatoire. On constate aussi que le bore ne suit pas l'évolution de la minéralisation totale et est faiblement corrélé aux teneurs en chlorures ($R^2 = 0,026$) (Figure. 7).

Le graphe de la figure 8.A, du Br en fonction du Cl (corrélation linéaire) (Fedrigoni et al., 2001; Bouroubi-Ouadfel et al., 2016 ; Zairi, 2008), présente des points inférieurs à la droite 1. Donc on peut dire que les concentrations en Cl sont bien plus élevées que celles du Br. Un tel rapport significatif du Cl ne peut être gagné que par la dissolution de l'halite, et l'origine de la salinité de ces eaux est le résultat d'une interaction eau/roche (Fontes et Matray, 1993 ; Bouroubi-Ouadfel et al., 2016).

Alors que le graphe de la figure 8.B, du $(\text{Br}/\text{Cl}) \cdot 1000$ en fonction du Cl (corrélation linéaire) (Fedrigoni et al., 2001 ; Bouroubi-Ouadfel et al., 2016) présente des points supérieurs à la droite du rapport Br/Cl de l'halite. Ces données peuvent être conciliées en présence de forte concentration en Na^+ et Cl^- contenu dans une solution (dissolution de halite) ne sont pas conservatifs et le Br^- présent est légèrement diminué car il est impliqué dans la halite (Fontes et Matray, 1993; Bouroubi-Ouadfel et al., 2016).

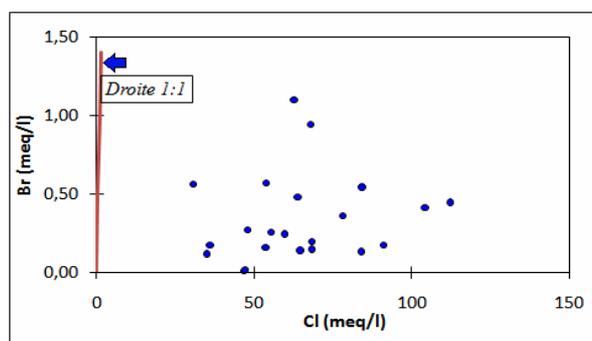


Figure 8.A. Correlation Br avec Cl (2009)

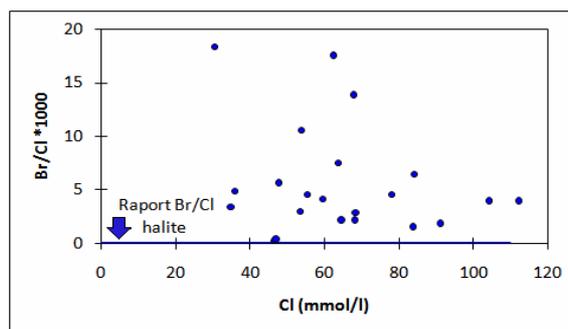


Figure 8.B. Correlation Br/Cl avec Cl (2009)

e- L'indice de saturation (IS)

L'indice de saturation exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minéral dans la matrice de l'aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l'interaction eau-roche (Droubi et al., 1976).

L'indice de saturation est un modèle d'équilibre extrait de la notion de saturation théorique et fournit un indicateur du degré de saturation de l'eau par rapport au carbonate de calcium. On peut montrer que l'IS est proche du logarithme (base 10) du niveau de saturation en calcite. Le niveau de saturation de Langelier se rapproche de la notion de saturation en utilisant le pH comme variable principale. L'IS peut être interprété comme le changement de pH nécessaire pour amener l'eau à l'équilibre calco-carbonique. Une eau avec un indice de saturation de 1 sera donc de une unité pH au-dessus de la saturation. Réduire le pH de 1 unité amènera donc l'eau à l'équilibre. Cela se produit parce que l'alcalinité totale diminue avec la diminution du pH, en fonction de l'équilibre qui décrit la dissociation de l'acide carbonique:

- Si IS est négatif : Pas d'incrustation potentielle, l'eau va dissoudre le CaCO_3 .
- Si IS est positif : l'incrustation peut se former et la précipitation du CaCO_3 peut se produire.
- Si IS est proche de zéro : le potentiel d'incrustation est limite.

Des changements dans la qualité de l'eau, la température (ou l'évaporation) peuvent modifier l'indice. L'IS est probablement l'indicateur le plus largement utilisé comme l'échelle potentielle d'entartrage de l'eau. C'est simplement un indice d'équilibre et ne traite que de la force motrice thermodynamique de la formation de tartre de carbonate de calcium et de sa croissance. Il ne donne aucune indication de la valeur quantitative de l'entartrage ou de la quantité de carbonate de calcium à précipiter pour amener l'eau à l'équilibre. (<http://hydro-land.com/e/doc/local/LSI.html>).

La représentation graphique relative aux points d'eau échantillonnés pendant les 2 campagnes de février 2009 et Février 2011 (Figure 9 et 10), suite à un calcul de l'indice de saturation des minéraux dissous dans l'eau, mener en utilisant la loi de Debye-Huckel ; on considère que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à 0,5 (Droubi et al., 1976), et le calcul de cet indice par le logiciel WATEQ in Plummer et al. (1984), montrent que :

- Le groupe des carbonates (Figure 9) présente des degrés de saturation différents : la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) est souvent à l'état de sursaturation avec un indice qui varie entre 0,36 et 4,00, Ce dernier est suivi par les minéraux de la calcite (CaCO_3) et de l'aragonite (CaCO_3) avec un indice de saturation qui varie entre -0,14 et 1,97 indiquant la variation entre un état à l'équilibre et un état de sursaturation.

- Le groupe des évaporites (Figure 10) est sous-saturé par rapport à l'anhydrite (CaSO_4), le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (-1,38 à -0,15) et l'augmentation des valeurs de l'indice de saturation des minéraux évaporitiques s'observe dans les eaux du grès Carbonifère, près des Bargas ou se localisent les formations évaporitiques.

- Pour les différents minéraux présents dans ces eaux un ordre précis de précipitation de ces minéraux est observé : Le gypse précipite en premier, suivis des anhydrites.

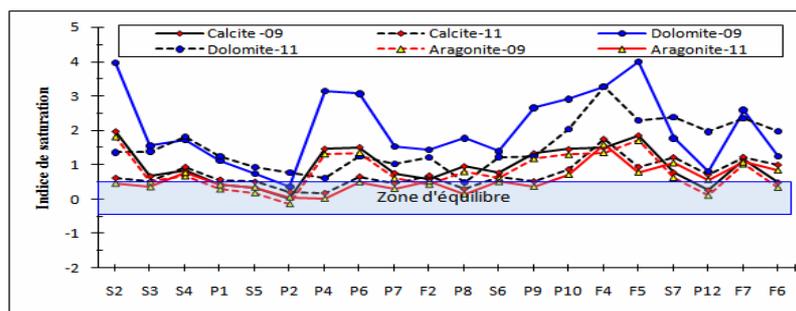


Figure 9. Variation spatiale des indices de saturation du groupe des carbonates (2009, 2011)

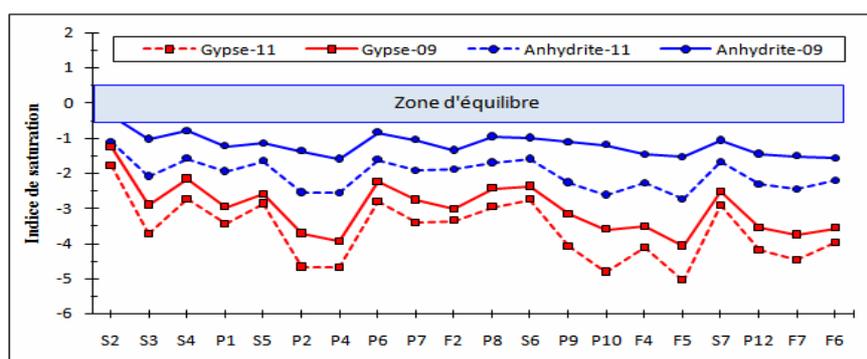


Figure 10. Variation spatiale des indices de saturation du groupe des évaporites (2009, 2011)

4. Conclusion

La composition chimique des eaux souterraines de l'aquifère du grès Carbonifère de Kenadsa est fortement influencée par la dissolution des halites, évaporites, calcite, dolomie et le gypse présentes dans le sous-sol de la zone d'étude. Ce processus contribue à la concentration des ions Na et Cl dans ces eaux souterraines. Cette salinité, avec un faciès chloruré-sodique dominant, se distribue spatialement, a des taux variable sur toute la zone étudiée. L'observation du contexte géologique du site combiné à la répartition spatiale de la salinité montrent que son origine est liée principalement à la dissolution des formations évaporitiques et salifères. L'utilisation des rapports ioniques entre les éléments chimiques : Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^- qui caractérisent les formations géologiques principales du site, a permis de montrer la dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-) par rapport au gypse (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) et aux carbonates (Ca^{2+} , HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité. L'analyse de l'indice de saturation des minéraux chimiques des eaux des grès Carbonifère de Kenadsa, montre la forte sensibilité des minéraux carbonatés à la précipitation par rapport à celles des minéraux évaporitiques, ce qui permet à ces éléments chimiques de se présenter à des concentrations élevées.

Références bibliographiques

1. AlSheibani A.M., 2008. Hydrogeology and hydrochemistry of Shallow alluvial aquifer, Western Saudi Arabia. *Hydrogeol. Journal*, (16): 155-165.
2. Bouroubi-Ouadfel Y., Djebbar M. & Khiari A., 2016. Hydrothermal complex of the Souk Ahras basin: geological and hydrogeochemical approaches (North East Of Algeria), *J. Fundamental Applied Science*, 8(3): 894-909.
3. Chavaillon J., 1964. Étude stratigraphique des formations Quaternaires du Sahara nord-occidental (Colomb-Bechar à Reggane). Th. Doc., publ. CRZA. Séries géol. 10, CNRS, Paris, 393p.
4. Chebbah L., Boudoukha A. & Kabour A., 2009. Identification hydro chimique des eaux souterraines dans une région aride (cas de la ville de Kenadsa, SW Algérien). In proceedings from 5^{ème} Journées Internationales des Géosciences de l'Environnement, Fès, 13-14 Mai, 2009.
5. Deleau P., 1951. Les bassins houillers du Sud Oranais dans la région de Colomb-Bechar-Abadla. Livre I : Stratigraphie- Sédimentation- Paléogéographie. Édition MACON, France, 277p.
6. Droubi A., Fritz B. & Tardy Y., 1976. Équilibres entre minéraux et solutions. Programmes de calcul appliqués, la prédiction de la salure des sols et des doses optimales d'irrigation. Cahier ORSTOM, série Pédologique, Vol. XIV (1): 13-38.
7. Fedrigoni L., Krimissa M., Zouari K., Maliki A. & Zuppi G., 2001. Origine de la minéralisation et comportement hydrogéochimique d'une nappe phréatique soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères : exemple de la nappe de Djebeniana (Tunisie) C.R. Acad. Sci. Paris, *Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences*. 332: 665-671.
8. Fontes J.Ch. & Matray J.M., 1993. Geochemistry and origin of formation brines from the Paris Basin, France. *Brines associated with Triassic salts Chemical Geology*, (109): 149-175.
9. Idrotecnico 1979. Etude hydrogéologique de la région de Bechar. Rapport final. SONAREM, DHWB, 170 p.
10. Jalali M., 2007. Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, western Iran. *Environmental Geology*, (52): 1133-1149.
11. Kabour A. & Chebbah L., 2017. Caractérisation hydro-chimique et mise à jour de la salinité des eaux souterraines en région aride: cas de l'aquifère du grès Carbonifère de Kénadsa (Sud-Ouest Algérien), *Geo-Eco-Trop*. (41), 1: 99-106.
12. Kortatsi B.K., 2006. Hydrochemical characterization of groundwater in the Accra plains of Ghana, *Environmental Geology*, (50): 299-311.

13. Leybourne M.I. & Goodfellow W.D., 2007. Br/Cl ratios and O, H, C, and Br isotopic constraints on the origin of saline waters from eastern Canada, *Geochimica & Cosmochimica Acta*, (71): 2209–2223.
14. Mekkaoui A., 2000. Bordure du sillon atlasique – plateforme saharienne, pendant le jurassique moy-inf (Grouz meridional, chebket charef-fendi) Algérie Sud Occidentale, Mémoire Magister, université d’Oran, 234p.
15. Nasri B., Benatallah A., Kalloum S. & Benhamza M., 2018. Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la région de Kenadsa et Galbelaouda (sud-ouest de l’Algérie), *Algerian J. Env. Sc. Technology*, (4.1): 690-702.
16. OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2004. Directives de qualité pour l’eau de boisson. Troisième Edition, Volume 1, Genève, *WSH_Guidelines_DrinkingWater_Quality-fr.doc*.
17. Parrelo F., Aiuppa A., Calderon H., Calvi F., Cellura D., Martinez V., Militello M., Vammen K. & Vinti D., 2008. Geochemical characterization, of surface water and groundwater resources in the Managua area (Nicaragua, Central America), *Applied Geochemistry*, (6): 1-17.
18. Plummer L.N., Jones B.F. & Truesdall A.H., 1984. WATEQ-A fortran IV version of WATEQ, A computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters 1976 Revised 1978,1984 Washington D.C .U.S. *Geol-Surv.-Water Recourse* (76):13-61.
19. Roche M.A. 1973. Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara Nord Occidental). CNRS (Recherche sur les zones arides), France, 91p.
20. Rodier J., 1996. L’analyse de l’eau. 8eme édition. Dunod, Paris, 1383p.
21. Schoeller H., 1959. Hydrogéologie des régions arides, progrès récents. Unesco, France, 127 p.
22. Wen X., Wu Y., Su J., Zhang Y. & Liu F., 2005. Hydrochemical characteristics and salinity of groundwater in the Ejina Basin, Northwestern China. *Environmental Geology*, (48): 665–675.
23. Zairi R., 2008. Etude géochimique et hydrodynamique de la nappe libre du Bassin du Lac Tchad dans les régions de Diffa (Niger oriental) et du Bornou (nord-est du Nigeria) Thèse, Université Montpellier II, 212p.

Please cite this Article as:

Chebbah L., Kabour A., 2020. Salinité et son origine dans les eaux souterraines des grés Carbonifères de Kenadsa dans le Sud-Ouest Algérien. *Agric. For. J.*, 4(2): 71-79.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4310963>