



**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)**

**Hydrochemical characterization and bring out of groundwater salinity in the arid region:  
case study from carboniferous sandstone aquifer in Kénadsa (Southwestern Algeria)**

KABOUR Abdesselem.\* & CHEBBAH Lynda.

**Abstract:** Water resources in arid regions are a key factor for socio-economic development in general and particularly for agricultural activities.

The Carboniferous Sandstone Aquifer is a hydro- stratigraphic unit which is exploited in Kenadsa in the south-western region of Algeria, and this area received special socio-economic attention in 1920 when coal deposits were discovered. After 1962 this mineral was abandoned and the natives turn to agriculture, by the exploitation of groundwater, supported by the new program of agriculture development in the Algerian Sahara.

A hydro-chemical study was carried out in the carboniferous sandstone aquifer in 2009 and 2011 on 11 wells, 6 springs and 5 boreholes, in order to identify and characterize the physicochemical evolution of these groundwater, where the dominant faciès is of sodium chloride type (90%), linked mainly to the mineral dissolution of the evaporates and halite, localized in this zone.

The groundwater of the carboniferous sandstone aquifer of Kenadsa has a high salinity (moy = 4,16 mg/l), which gives them poor drinking water quality and unusable for irrigation.

Key words: Hydrochemistry, Groundwater, Salinity, Arid region, Kenadsa, Algeria

**Résumé :** Les ressources en eau dans les régions arides sont un facteur clé pour le développement socio-économique en général et les activités agricoles en particulier.

L'aquifère du grès carbonifère est une unité hydro-stratigraphique qui est exploitée à Kenadsa dans la région sud-ouest de l'Algérie. Cette zone a suscité une attention socio-économique particulière, en 1920, lorsque des gisements de charbon ont été découverts. Après 1962, ce minerai est délaissé et les autochtones se tournent vers l'agriculture, par l'exploitation des eaux souterraines, soutenus par le nouveau programme de développement de l'agriculture dans le Sahara algérien.

Une étude hydro-chimique a été menée dans l'aquifère du grès carbonifère, en 2009 et 2011 sur 11 puits, 6 sources et 5 forages, afin d'identifier et caractériser l'évolution physico-chimique de ces eaux souterraines, où on constate que le faciès dominant est de type chloruré sodique (90%), lié principalement à la dissolution minérale des évaporites et de l'halite présente dans la zone.

Les eaux souterraines de l'aquifère du grès carbonifère de Kenadsa ont une salinité élevée (moy = 4,16 mg/l), ce qui engendre une mauvaise qualité à la potabilité et inutilisable pour l'irrigation.

Mots clés: Hydrochimie, Eaux souterraines, Salinité, Région aride, Kenadsa, Algérie

## INTRODUCTION

La variation de la qualité des eaux souterraines dans une zone est fonction des paramètres physiques et chimiques qui sont fortement influencés par les formations géologiques traversées et les activités anthropiques (SUBRAMANI *et al.*, 2010).

Dans une zone aride typique comme le Sahara algérien, les eaux souterraines constituent une source majeure d'eau pour la plupart des utilisations. Les ressources en eau souterraine dans la région de Kenadsa proviennent des aquifères situés principalement dans le calcaire du Turonien, le grès carbonifère, ainsi que des aquifères alluvionnaires peu profonds, situées à l'Oued Messouar (Messouar wadi, voir Figure 1 et 3). L'eau de ces aquifères est utilisée pour l'irrigation et les usages domestiques, et aussi comme eau de consommation pour la plupart des régions rurales avoisinantes.

A cause de la croissance de la population et de l'utilisation des eaux souterraines, le rendement des puits et des sources reste insuffisant. En outre, la mauvaise qualité de l'eau 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.

Dans cette étude, on exposera les caractéristiques physico-chimiques, les faciès hydro-chimiques et les relations entre les différents éléments chimiques par des méthodes statistiques, ce qui permettra de définir la qualité et de mettre en évidence la salinité des eaux de l'aquifère du grès carbonifère dans la région de Kenadsa.

## PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

La zone d'étude est située dans le Sud-ouest de l'Algérie, dans la région de Kenadsa (Figure 1), elle est caractérisée par un climat aride, où la précipitation annuelle moyenne est 102,33 mm et la température moyenne est de 21,44°C, mesures prises à la station de Bechar, entre 1988 et 2010.

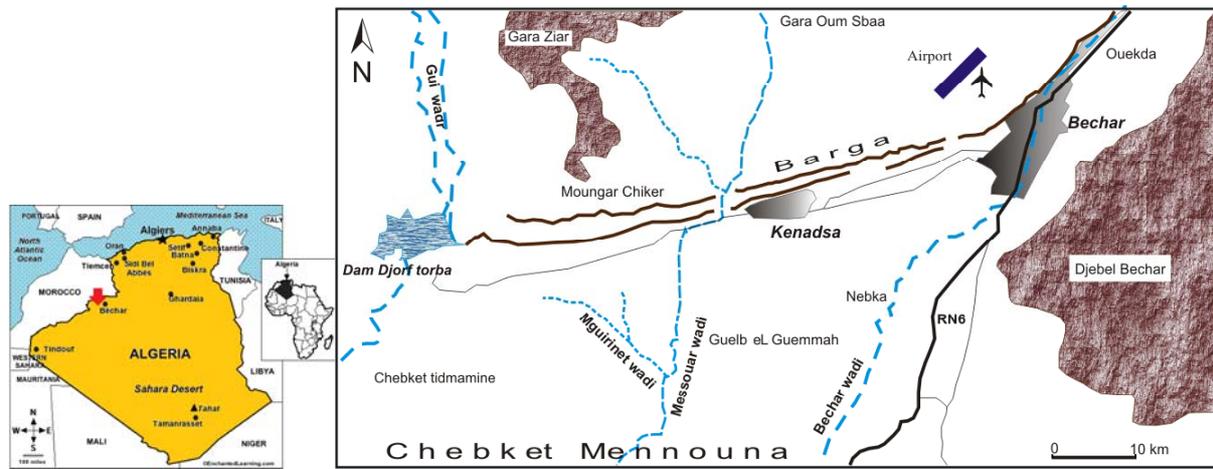


Figure 1. Situation géographique de Kenadsa (SW algérien).

## GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

Les unités géologiques dans la zone d'étude et leurs propriétés hydro-géologiques 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).

Il existe deux types d'aquifères dans la zone d'étude: le premier est de type profond formé par l'aquifère des grès carbonifère et celui du calcaire du Turonien, le second est peu profond restreint à deux principaux Oueds (Oued Bechar et Oued Messouar) (IDROTECNECO, 1979 ; CHAVAILLON, 1964).

L'aquifère du grès carbonifère est composé de formations de grès marneux, d'une rare intercalation calcaire, et du grès quartzitique du Westphalien et du Stéfanién (alternance de grès et de marnes) (DELAU, 1951; ROCHE, 1973; IDROTECNECO, 1979). Les grès et le calcaire marneux sont disposés dans des bancs de 20 à 40 m, intercalés en groupes de 5 à 15 bancs, dans les marnes schisteuses, sur 25 à 30 m d'épaisseur, avec une pente des couches de 30°. L'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. Les plus connues sont: Ain Sheikh (S5), Ain Dir (S4) et Ain Sidi Mebarek (S6) (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 (Figure 3), remplie de roches éruptives imperméables (des dolérites : roches à grain moyen, elles forment de petites intrusions en filons.), joue le rôle d'un substratum d'une nappe phréatique (DELEAU, 1951; ROCHE, 1973; IDROTECNECO, 1979 ; CHAVAILLON, 1964); Au nord-est de la zone d'étude vers la ville de Béchar, le flux se déplace vers l'oued Bechar, qui, dans la partie sud-est, au sud de Aouinet Hamou Aissa, alimente l'aquifère (Figure 3) (CHEBBAH *et al.*, 2009).

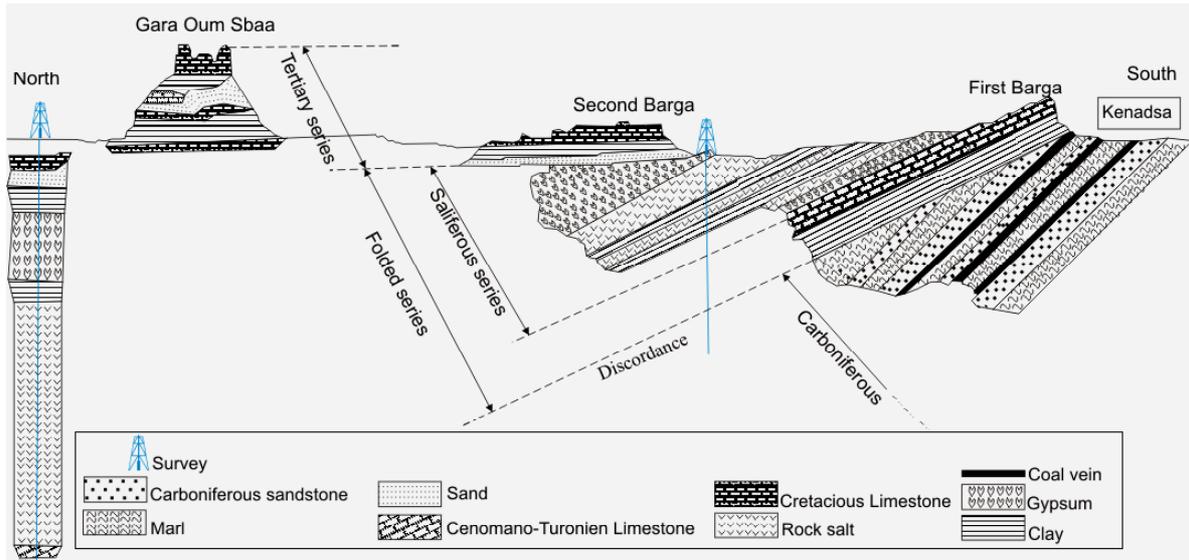


Figure 2. Coupe schématique de la géologie et du style tectonique de la région de Kenadsa (DELAU, 1951).

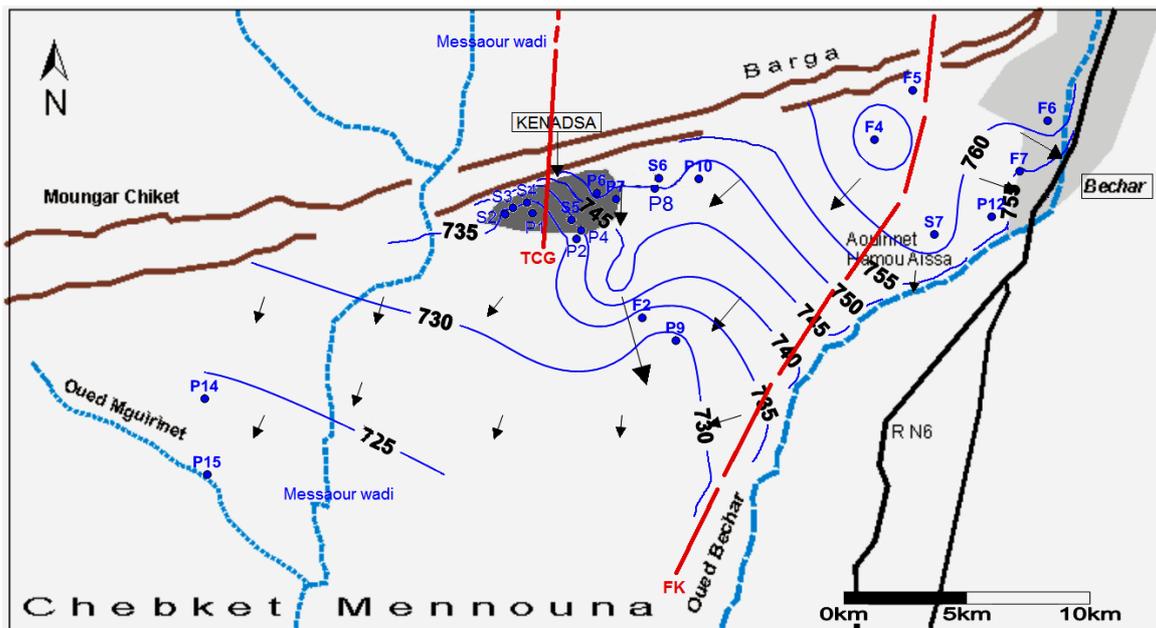


Figure 3. Carte d'inventaire des points d'eau et piézométrie (2009) de l'aquifère du grès carbonifère de Kenadsa (CHEBBAH *et al.*, 2009).

(Légende : TGC : Tracé de la coupe géologique ; FK : Faille de Ksiksou).

## MATERIEL ET METHODES

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, 6 sources et 5 forages, et la seconde au mois de février 2011, sur 9 puits, 7 sources et 5 forages. Les échantillons ont été analysés dans le laboratoire du département de chimie de l'université de Bechar.

Les paramètres physico-chimiques analysés sont: le pH, la salinité, Eh, la conductivité électrique (CE), le calcium, le magnésium, les sulfates, le chlorure, les nitrates et les phosphates, selon la technique standard d'analyse (Tableau 1) (RODIER, 1996).

**Tableau 1.** Les méthodes d'analyses utilisées.

Elément	Méthode d'analyse
pH, Salinité, TDS, Eh, CE (Conductivité électrique)	Potentiomètre (Consort 861)
Calcium et Magnésium	Volumétrique : titrage complexométrique avec le sel disodique de l'éthylène - diaminetétracétique acide (EDTA)
Nitrates	Potentiomètre (électrode spécifique);
Sulfates	Spectrophotomètres
Sodium et Potassium	Spectrophotomètre à flamme

Pour la caractérisation de la qualité chimique, principalement, la comparaison avec les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), pour un éventuel usage à la consommation, et l'aptitude à l'irrigation, ainsi que pour la mise en évidence de la salinité de l'eau étudiée, on a utilisé les méthodes statistiques, classification ionique, corrélation entre les ions, la détermination du faciès, le diagramme de Piper, le diagramme de Wilcox, celui de Riverside, et la corrélation entre Cl et Na.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### Méthodes statistiques

Les compositions chimiques des échantillons des eaux souterraines de Kenadsa (2009 et 2011) ont été analysées statistiquement (Tableau 2), où on remarque que ces eaux sont très minéralisées (salées). En effet, 100% des échantillons montrent des niveaux de CE variant entre 3,17 à 13,81 mS/cm, et globalement supérieurs à 2,5 mS/cm (valeur recommandée par l'OMS, 1993).

**Tableau 2.** Statistique globale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe des grès carbonifères de Kenadsa.

Eléments	Norme OMS	Février 2009					Février 2011				
		N	moy	min	max	Ecart-type	N	moy	min	max	Ecart-type
pH	7,0-8,5	22	7,90	7,17	9,09	0,55	21	7,46	6,95	8,30	0,37
eH (mV)	/	22	-47,05	-106,00	-11,00	26,34	21	-25,00	-69,00	2,00	18,97
CE (mS/cm)	2,5	22	7,72	3,17	13,81	3,41	21	8,00	3,23	16,36	3,57
Sal (mg/l)	/	22	4,16	1,50	7,90	2,03	21	4,48	1,60	9,70	2,19
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	100	22	216,44	96,79	517,21	108,08	21	565,88	4,87	1500,78	365,74
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	50	22	129,39	75,24	244,75	54,36	21	456,50	53,20	1002,65	273,40
K <sup>+</sup> (mg/l)	12	22	15,24	3,78	60,03	13,72	21	16,83	5,62	61,61	12,11
Na <sup>+</sup> (mg/l)	150	22	1392,27	579,82	2395,00	527,80	21	1348,74	399,28	2891,60	642,08
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	250	22	2279,33	1087,50	3976,00	758,59	21	2018,43	710,00	4331,00	970,73
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	250	22	324,79	207,40	420,60	54,69	21	372,39	268,40	9,09	72,03
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	250	22	256,39	89,30	583,84	105,56	21	485,08	159,80	1852,45	352,41
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	20	22	91,52	0,63	282,78	69,33	21	21,51	11,60	33,76	6,44

Les ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> sont le cation et l'anion dominants, respectivement, ce sont les seuls ions qui dépassent 55 % du total des cations et des anions dans la plupart des puits et des sources, ceci est nettement représenté sur la figure 4, des pourcentages en valeurs moyennes (KORTATSI, 2006), qui montre également que l'ordre d'abondance relative des principaux cations dans l'eau souterraine de l'aquifère du grès carbonifère est Na<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> pour 2009 et 2011, alors que celui des anions 2009 on a Cl<sup>-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, et celui des anions 2011 on a Cl<sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Une distribution irrégulière des paramètres chimiques apparaît, alors qu'une corrélation entre les éléments majeurs par la méthode Spearman permet de comprendre ces relations (KORTATSI, 2006). L'interprétation du tableau 3, confirme une relation entre les ions Na et Cl avec un coefficient de corrélation r = 0,907 (2009) et r = 0,727 (2011), puisque le coefficient de corrélation entre Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> est positivement élevé, on peut également déduire que pour la plupart des échantillons d'eau souterraine les éléments Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> proviennent d'une source commune (KORTATSI, 2006).

Sur le tableau de 2009, on remarque l'influence des ions Cl, K, et le SO<sub>4</sub> sur la CE (r > 0,5), et des ions Cl, SO<sub>4</sub> sur la salinité (r > 0,5), la valeur de r est relativement faible mais elle est significative (KORTATSI,

2006), alors que sur le tableau de 2011 la salinité est principalement influencée par les ions Na ( $r > 0,7$ ) et Cl ( $r > 0,9$ ).

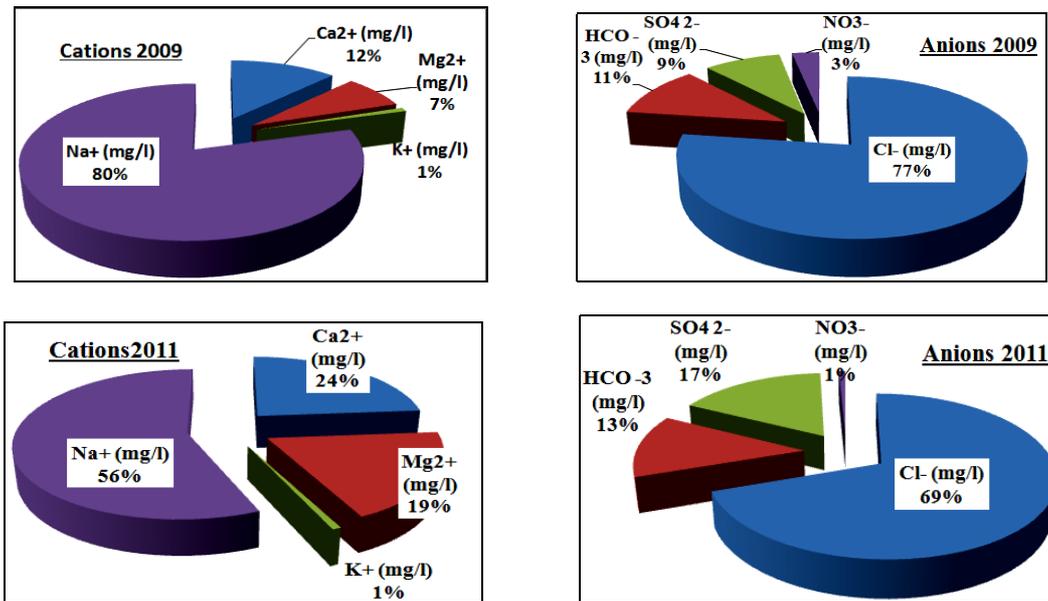


Figure 4. Evaluation des ions Na et Cl par rapport aux anions et aux cations.

Tableau 3. Coefficients de corrélation de la concentration des ions majeurs dans les eaux souterraines de l'aquifère du grès carbonifère de Kenadsa.

2009	CE	sal	Ca+	Mg+	K+	Na+	Cl-	HCO3-	SO4-	NO3-
CE	1									
sal	0,978	1								
Ca+	0,446	0,396	1							
Mg+	0,222	0,193	0,418	1						
K+	0,551	0,487	0,274	0,152	1					
Na+	0,378	0,381	0,014	0,001	0,398	1				
Cl-	0,546	0,541	0,093	0,046	0,463	0,907	1			
HCO3-	0,191	0,201	0,005	0,026	0,018	0,241	0,388	1		
SO4-	0,522	0,516	0,169	0,061	0,426	0,193	0,212	0,000	1	
NO3-	0,048	0,032	0,007	0,004	0,016	0,184	0,186	0,105	0,000	1
2011	CE	sal	Ca+	Mg+	K+	Na+	Cl-	HCO3-	SO4-	NO3-
CE	1									
sal	0,995	1								
Ca+	0,224	0,214	1							
Mg+	0,143	0,157	0,199	1						
K+	0,446	0,446	0,218	0,019	1					
Na+	0,756	0,779	0,153	0,124	0,267	1				
Cl-	0,951	0,957	0,133	0,221	0,466	0,727	1			
HCO3-	0,058	0,051	0,190	0,153	0,006	0,076	0,030	1		
SO4-	0,013	0,018	0,012	0,141	0,011	0,019	0,018	0,078	1	
NO3-	0,007	0,006	0,052	0,006	0,003	0,003	0,002	0,071	0,169	1

## Types d'eau

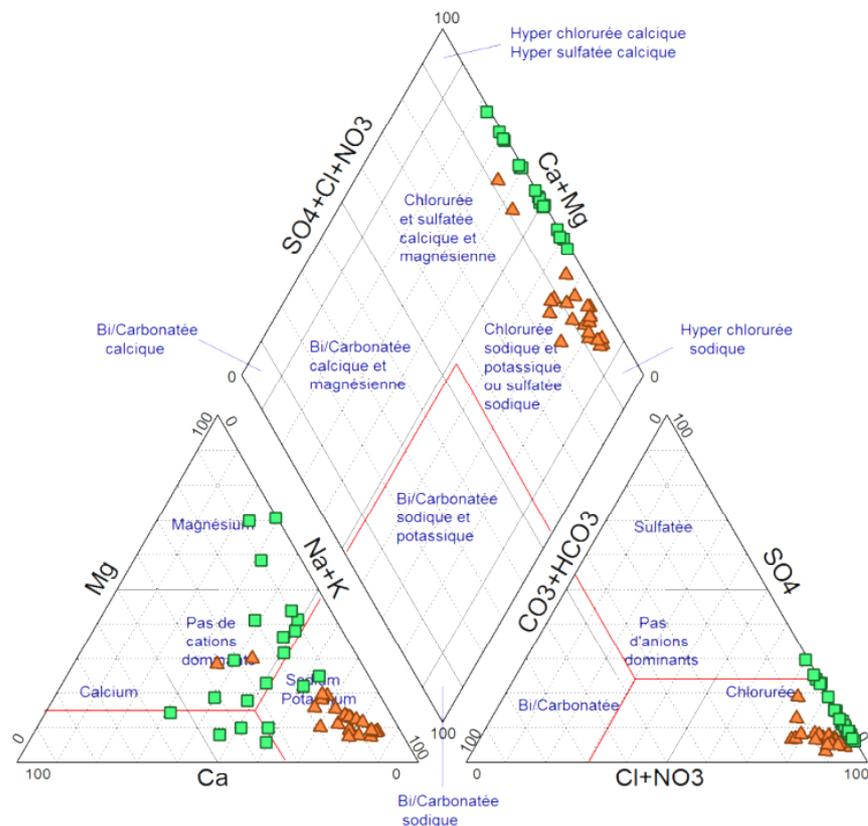
La détermination du faciès chimique des eaux souterraines du grès carbonifère de Kenadsa est établie sur le diagramme de Piper (JALALI, 2007 ; WEN *et al.*, 2005; CETINDG & OKAN, 2004), les échantillons sont représentés sur la figure 5, où on remarque deux types d'eau, le premier est principalement  $\text{Cl Na K SO}_4$ , (90 % en 2009, 15% en 2011) et il apparaîtra qu'il évolue à partir d'une combinaison de processus qui incluent la dissolution de la halite et des évaporites présentes dans le sous-sol de la région (CHEBBAH *et al.*, 2009; IDROTECNECO, 1979).

Le second type d'eau,  $\text{Cl SO}_4 \text{ Ca Mg}$  (10 % en 2009, 85 % en 2011), se trouve au sud-ouest de la zone d'étude, ce type d'eau a probablement évolué à partir de l'interaction de l'eau avec des évaporites (CHEBBAH *et al.*, 2009; IDROTECNECO, 1979; DELEAU, 1951), cette eau semble aussi représenter un mélange d'eau à haute salinité avec une eau de recharge récente (ALBASSAM, 1998), l'augmentation des alcalins correspond à une augmentation simultanée de Cl et  $\text{SO}_4$ , ce qui suggère une source commune de ces ions (WEN *et al.*, 2005).

L'analyse de la qualité de cette eau pour un éventuel usage à la consommation humaine est évaluée par la comparaison des valeurs moyennes des différents éléments avec les normes de l'OMS (1993) (Tableau 2), où on remarque que toutes les valeurs moyennes de tous les éléments analysés dépassent les normes de l'OMS, ce qui acquière à cette eau un aspect de non potabilité.

L'aptitude à l'irrigation est analysée par le diagramme de Wilcox (SRIVASTAVA & RAMANATHAN, 2008) (Figure 6), qui confirme la mauvaise qualité de cette eau avec 11 % des points, et le reste (89 %) est situé hors diagramme.

Le diagramme de Riverside (SRIVASTAVA & RAMANATHAN, 2008) montre que 35% des échantillons sont de qualité non recommandable et 65 % inutilisables pour l'irrigation (Figure 7).



**Figure 5.** Diagramme de Piper  
(Légende : 2009, 2011)

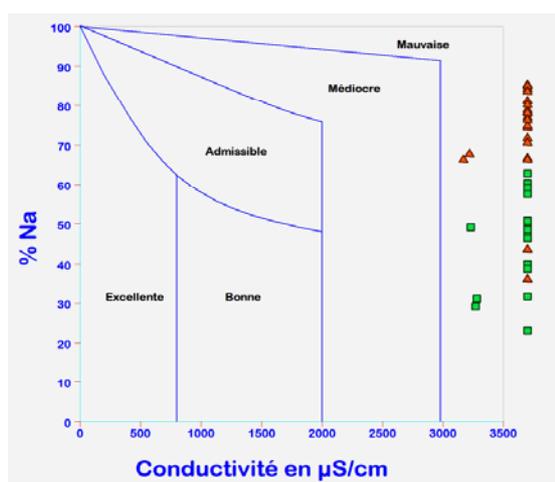


Figure 6. Diagramme de Wilcox

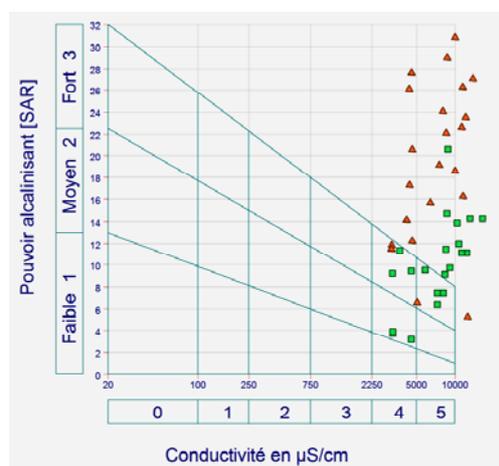


Figure 7. Diagramme de Riverside.

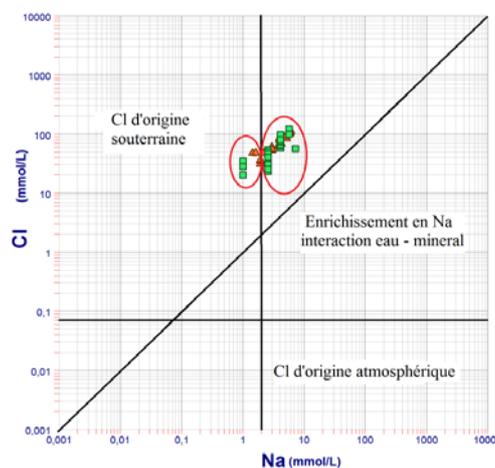


Figure 8. Relation entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .

### Relations ioniques entre $\text{Na}^+$ et $\text{Cl}^-$ :

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), les ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et le  $\text{SO}_4^{2-}$  sont les solutés prédominants dans l'eau souterraine de Kenadsa, un examen des relations stœchiométriques pourraient 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 (AL SHEIBANI, 2008; JALALI, 2007; WEN *et al.*, 2005). Les teneurs élevées en  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  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 8, on observe que le Cl est d'origine souterraine pour 18 % des échantillons de 2009 et 14 % pour ceux de 2011, alors que l'enrichissement en Na par l'effet du contact eau – minéral correspond à environ 86 % des échantillons de 2011 et 82 % de ceux de 2009.

Les halogénures comme par exemple l'halite ( $\text{NaCl}$ ) et les sulfates, comme par exemple 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).

## 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 présents 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 se distribue spatialement sur toute la zone étudiée.

L'étude de la qualité de ces eaux, par la comparaison des analyses chimiques avec les normes de l'OMS a confirmé que tous les échantillons des eaux souterraines de l'aquifère du grès carbonifère dépassent les limites admissibles, ce qui rend cette eau non potable à la consommation humaine, principalement à cause de la présence d'une salinité excessive ; et en raison d'un risque de salinité et d'alcalinité élevé à très élevé, ces eaux sont inutilisables pour l'irrigation.

## RÉFÉRENCES

- AL BASSAM, A.M., 1998. Determination of hydrochemical processes and classification of hydrochemical facies for the Sakkakah aquifer, Northeastern Saudi Arabia. *J. Of African Earth Sci.*, 27 : 27-38.
- AL SHEIBANI, A.M., 2008. Hydrogeology and hydrochemistry of Shallow alluvial aquifer, Western Saudi Arabia. *Hydrogeol. J.*, 16 : 155-165.
- CETINDG, O.B., & OKAN, O., 2004. Hydrochemical characteristics and pollution potential of Upuova aquifers, Elazig, Turkey. *Environ. Geol.*, 45 : 796-807.
- 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.
- CHEBBAH L., BOUDOUKHA A. & KABOUR A., 2009. Identification hydro chimique des eaux souterraines dans une région aride (cas de la ville de Kenadsa, SW Algérie). JIGES, Fès, Maroc.
- DELAU, P., 1951. Les bassins houillers du Sud Oranais dans la région de Colomb-Bechar-Abadla. Livre I : Stratigraphie-Sédimentation- Paléogéographie. Édition MACON, France, 277 p.
- FEHDI, C., BOUDOUKHA, A., ROUABHIA, A. & SALAMEH, E., 2009. Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien). *Afrique Sci.*, 05(2) : 217 – 231.
- FISHER, R.S. & MULLICAN, W.F., 1997. Hydrochemical evolution of sodium- sulfate and sodium-chloride. Groundwater Beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans-Pecos, Texas, USA. *Hydrogeol. J.*, 5: 4-16.
- IDROTECNECO, 1979. Etude hydrogéologique de la région de Bechar. Rapport final. SONAREM, DHWB, 170 p.
- JALALI, M., 2007. Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, western Iran. *Environ. Geol.*, 52 : 1133–1149.
- KORTATSI, B.K., 2006. Hydrochemical characterization of groundwater in the Accra plains of Ghana, *Environ. Geol.*, 50: 299-311.
- OMS (Organization Mondiale de la Santé), WHO, 1993. Guidelines for drinking-water quality, second ed. World Health Organization, Geneva.
- 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*, 06 : 1-17.
- ROCHE, M.A., 1973. Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara Nord Occidental). CNRS (Recherche sur les zones arides), France, 91p.
- RODIER, J., 1996. L'analyse de l'eau. 8<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris.
- SRIVASTAVA, S. K. & RAMANATHAN, A. L., 2008. Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods, *Environ. Geol.*, 53:1509–1528.
- SUBRAMANI, T., RAJMOHAN, N. & ELANGO, L., 2010. Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India, *Environ. Monit. Assess.*, 162:123–137.
- WEN, X., WU, Y., SU, J., ZHANG, Y. & LIU, F., 2005. Hydrochemical characteristics and salinity of groundwater in the Ejina Basin, Northwestern China. *Environ. Geol.*, 48: 665–675.
- ZUPPI, G.M., NOVEL, J.P., DRAY, M., DARMENDRAIL, X., FUDRAL, S., JUSSERAND, C. & NICOUD, G., 2004. Eaux fortement minéralisées et circulations profondes dans le socle. Exemple des Alpes franco-italiennes. *C. R. Géosciences*, 336 : 1371–1378.