



Caractérisation géochimique des aquifères superficiels de la cuvette d'Ouargla (SE Algérie).

Bouselsal Boualem¹, BELKSIER Mohamed Salah² et Houari Idir Menad³ et Hadj Said Samia⁴. ^{1,2} et ⁴. Laboratoire des réservoirs souterrains pétroliers gaziers et aquifères. Université de Kasdi Merbah.

Ouargla.

^{3.} Laboratoire de Géologie du Sahara, Université de Kasdi Merbah. Ouargla. Email : bousboualem@gmail.com

Résumé

L'aquifère superficiel de la cuvette d'Ouargla (Sud Est Algérie) est constitué de sables, de gravier d'âge Quaternaire. L'étude de la qualité des eaux montre qu'elles n'obéissent pas aux normes de l'eau potable de l'OMS. Quant à la qualité d'eau pour l'irrigation, basée sur les normes de Riverside, elles sont de qualité médiocre à mauvaise.

L'étude statistique et géochimique nous permis de dire que les eaux de l'aquifère superficiel sont dominées par des facies évaporitiques, les valeurs de la salinité oscillent entre 2,3 g/l (P162) et 281 g/l (P059). La minéralisation des eaux est liée à la dissolution des évaporites, au phénomène d'échange de base et des apports anthropiques. On note aussi la forte évaporation causée par la faible profondeur de la nappe qui à conduite à la minéralisation excessive des eaux jusqu'à la saturation pour les minéraux carbonatés, le gypse et l'anhydrite.

Mots clés : Ouargla, OMS, aquifère, géochimie, évaporites, anthropique.

1. INTRODUCTION

L'objectif du travail est la compréhension des comportements géochimiques des eaux, en réponse à certains fonçages naturels et anthropiques, par l'étude combinée des rapports ioniques et analyses statistiques des données hydrochimiques. Ainsi que l'évaluation de la qualité d'eau pour les différents usages (AEP et irrigation).

2. CADRE GENERAL

2.1. Situation géographique

La cuvette d'Ouargla est localisée au Nord-Est de l'Algérie (Fig.1), elle occupe le fond d'une cuvette dans la basse vallée de l'oued Mya. Elle s'étend sur une superficie totale de l'ordre de 95000 Ha. Cette dépression s'étend entre les coordonnées UTM: X=710000/730000 et Y= 3530000/3 60000.



Fig.1 Situation géographique d'Ouargla.

2.2. Contexte hydrogéologique

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 km² [1]. Ce bassin est caractérisé par la superposition de trois couches aquifères [2,3] il s'agit de bas en haut, de l'aquifère de continental intercalaire (CI), de l'aquifère de complexe terminal (CT) et de l'aquifère superficiel.

L'aquifère superficiel est libre et constitué de formations détritiques d'âge Quaternaire représentées par de sables , de grés et de graviers avec présence de gypse et des niveaux de tuf (concrétion calcaire) dans les chotts et les sebkhas [4].

3. MATERIELS ET METHODES





Pour la réalisation de cette étude, une compagne de prélèvement et de mesures hydrochimiques a été effectuée sur 42 échantillons issues des puits et des forages de l'aquifère superficiel libre, en avril 2015.

Les paramètres physico-chimiques (pH, température et conductivité) ont été déterminés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon, en utilisant un multi-paramètre portatif. Des échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons polyéthylènes suivant le protocole d'échantillonnage de Rodier (1984) [5] pour l'analyser au laboratoire. L'analyse statistique des résultats obtenus se base sur la comparaison des moyennes des différents paramètres mesurés. Les maxima, les minima et l'écart type ont été déterminés pour évaluer les variations de ces paramètres. Dans le but de déterminer les mécanismes d'acquisition de la minéralisation, on a utilisé le logiciel Diagramme.

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Salinité et faciès chimiques

Les valeurs de la salinité oscillent entre 2,3 g/l (P162) et 281 g/l (P059) en matière dissoute totale (MDT). Le diagramme de Piper (1944) [6] (Fig.2) a été utilisé dans le but de caractériser l'eau de l'aquifère superficiel. La représentation des résultats d'analyses chimiques des eaux échantillonnées montrent la dominance des facies évaporitiques, chloruré sulfaté sodique et calcique. Ces faciès soulignent les processus hydrogéochimiques qui contrôlent la salinité des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla.



Fig.2 Diagramme de Piper des eaux de l'aquifère superficiel.

4.2. Qualité des eaux

La qualité des eaux pour l'approvisionnement en eau potable (AEP) ne satisfait pas les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2004) [7] et les normes algériennes (N.A). Elles sont fortement minéralisées et les concentrations des éléments majeurs (Tab.1) sont souvent supérieures aux normes recommandées. Les concentrations élevées en nitrates et en chlorures sont indice d'une pollution anthropique d'origine urbaine et agricole qui affecte la zone d'étude. Tableau 1. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux.

| Paramètre | N.A | N.OMS | Min | Max | Moy | Ecart-type |
|-------------------------|---------|---------|------|--------|-------|------------|
| Ca ⁺² (mg/l) | 200 | 200 | 160 | 20000 | 4201 | 5941 |
| Mg ⁺² (mg/l) | 150 | 150 | 95 | 8600 | 1156 | 1449 |
| Na ⁺ (mg/l) | 200 | 200 | 313 | 81500 | 14705 | 22754 |
| \mathbf{K}^{+} (mg/l) | 20 | 12 | 19 | 10700 | 1386 | 2535 |
| CI (mg/l) | 500 | 250 | 335 | 135000 | 27786 | 41656 |
| SO_4^{-2} (mg/l) | 400 | 250 | 688 | 87000 | 7870 | 14083 |
| HCO ₃ (mg/l) | 300 | 240 | 52 | 619 | 237 | 130 |
| NO_3 (mg/l) | 50 | 50 | 0 | 133 | 28 | 32 |
| pH | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,9 | 8,4 | 7,9 | 0,3 |
| RS (mg/l) | 2000 | 1500 | 2364 | 281630 | 58708 | 79091 |
| CE (µS/cm) | 2800 | 1000 | 2790 | 169600 | 48380 | 55884 |

Pour étudier la qualité des eaux pour usage agricole, on s'est basé sur les normes de Riverside (Richard, 1954) [8] qui combine deux paramètres: le SAR et la conductivité électrique.





Les eaux de l'aquifère superficiel de la cuvette d'Ouargla montrent des échantillons où la conductivité est supérieure à 10 000 μ S/cm (extrêmement salés) et/ou le SAR >30 (très fortement sodiques). Cependant le reste des échantillons s'arrangent selon deux classes(Fig.3): Eaux médiocres (C4S₂) et Eaux mauvaises (C4S₃).



Fig.3 Diagramme de Riverside des eaux de l'aquifère superficiel

4.3. Analyse statistique

Une étude statistique a été effectuée avec 11 variables (Ca²⁺, Mg ²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, pH, RS et CE) pour les 42 échantillons prélevés de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla. La matrice de corrélation des éléments chimiques (Tab.2) montre plusieurs corrélations positives significatives entre les différents ions : Ca²⁺ vs SO₄²⁻; Na⁺ vs Cl⁻; K⁺ vs Cl⁻; Ca⁺² vs Cl; K⁺ vs SO₄⁻² et Na⁺ vs SO₄⁻². Ces liaisons témoignent de l'influence de l'évaporation sur le chimisme des eaux.

| Tab.1 La matrice de corrélation des éléments chimiques |
|--|
|--|

| Var | Mg | Ca | Na | K | Cl | SO ₄ | HCO ₃ | NO ₃ | CE | RS | pН |
|------------------|----|------|------|------|------|-----------------|------------------|-----------------|------|-------|-------|
| Mg | 1 | 0,72 | 0,56 | 0,40 | 0,69 | 0,32 | -0,22 | -0,13 | 0,63 | 0,54 | -0,35 |
| Ca | | 1 | 0,93 | 0,89 | 0,95 | 0,66 | -0,35 | -0,31 | 0,94 | 0,95 | -0,78 |
| Na | | | 1 | 0,87 | 0,95 | 0,66 | -0,31 | -0,29 | 0,95 | 0,94 | -0,76 |
| K | | | | 1 | 0,82 | 0,73 | -0,33 | -0,30 | 0,86 | 0,94 | -0,78 |
| Cl | | | | | 1 | 0,47 | -0,35 | -0,27 | 0,95 | 0,93 | -0,76 |
| SO4 | | | | | | 1 | -0,14 | -0,25 | 0,61 | 0,65 | -0,50 |
| HCO ₃ | | | | | | | 1 | -0,18 | - | -0,34 | 0,35 |
| NO ₃ | | | | | | | | 1 | - | -0,30 | 0,07 |
| CE | | | | | | | | | 1 | 0,97 | -0,74 |
| RS | | | | | | | | | | 1 | -0,81 |
| pН | | | | | | | | | | | 1 |

L'analyse en composantes principales (A.C.P) effectuée en se basant sur les 11 paramètres précédents, s'est limitée en deux facteurs (F1 et F2) qui expliquent 77.88% de la variance totale. La projection des variables sur le plan F1-F2 (Fig.4) montre que :

Le facteur F1 représente 66.67 % de la variance totale. Il est considéré comme un facteur majeur de la minéralisation des eaux puisqu'il est fortement corrélé avec la majorité des éléments majeurs (Ca²⁺, Na⁺, K⁺, SO4²⁻, Cl⁻), ceci indique que l'interaction des eaux avec la roche encaissante. D'autre part, l'axe F2 opposant le nitrate avec le reste des éléments majeurs reflète le résultat des processus anthropiques, notamment la contamination nitratée liée à l'application des engrais chimique dans les zones agricoles et l'infiltration des eaux usées domestiques a cause de la quasi-absence du réseau d'assainissement.

Le facteur F2 représente 14.56 % de la variance totale, oppose le magnésium (Mg) et le bicarbonate (HCO₃) contre le reste des éléments majeurs témoignant l'effet du mélange des eaux de nappes profondes (CT et CI) sur le chimisme des eaux de l'aquifère superficiel [9].









La concentration des ions dissous dans l'eau souterraine est généralement contrôlée par la lithologie [9], la vitesse d'écoulement des eaux souterraines, les réactions géochimiques naturelles, les activités humaines et le mélange avec les eaux des nappes profondes.

La corrélation Na⁺ vs Cl⁻ (Fig.5a) montre une bonne corrélation entre les ions de Na⁺ et Cl⁻, où on remarque que la majorité des points alignant sur la droite de la dissolution de l'halite, ce qu'il confirme que les eaux de la nappe résultent de la dissolution de l'halite.

La corrélation Ca^{+2} **vs SO** 4^{-2} (Fig.5b) montre une évolution proportionnelle des sulfates et du calcium. Cette relation traduit la dissolution de gypse et de l'anhydrite. Cependant la majorité des points se positionnent au-dessous de la droite de la mise en solution du gypse. Cet excès en sulfate, indique l'existence d'autre origine de SO 4^{-2} autre que le gypse et l'anhydrite.

La corrélation Na⁺ vs SO₄⁻² (Fig.5c) montre une évolution proportionnelle des sulfates et du sodium, cependant le sulfate est en excès par rapport au sodium indiquant une origine de sulfate (gypse et l'anhydrite), probablement la dissolution de la thénardite (Na₂SO₄), dont le dépôt est favorisé en particulier au niveau des régions arides [10].

La corrélation Na^+ vs Ca^{+2} (Fig.5d) permet de classer les points d'eau en deux classes distincts. Un groupe, où l'évolution du sodium et calcium est simultanée dû à la dissolution des évaporites. Le deuxième groupe est formé des points où on remarque la diminution du calcium alors que le sodium reste en évolution qui peut être dû a un processus d'échange de base ou encore a la précipitation du gypse qui est moins soluble que l'halite.

La corrélation SO4⁻² vs Cl⁻ (Fig.5e) permet de vérifier la relation entre ces deux éléments SO_4^{-2} et Cl⁻ qui donnant les deux faciès dominant chloruré et sulfaté. Le graphe montre une dispersion des points indiquant une évolution proportionnelle des deux éléments ayant donc une origine salifère commune. De plus, le graphe montre que quelques points caractérisent par un excès de sulfates et d'autres par un excès de chlorures. Cela traduit la dominance du faciès de l'un sur l'autre.

L'échange de base (Fig.5f) entre les eaux souterraines et les formations sablo-argileuses de l'aquifère est mis en évidence par la relation $[(Mg^{2+}+Ca^{+2})-(SO_4^{-2}+HCO_3)]$ en fonction de $(Na^++K^+-Cl^-)$ représenter dans la figure 13 [11]. La figure montre deux groupes des points; groupe 1 placer prés du point d'origine indique l'absence de phénomène d'échange de base, et le groupe 2 indique que ces eaux fixant le Ca⁺² et libérant le Na⁺.







Fig.5 Diagrammes de corrélations de (a) Na⁺/Cl⁻, (b) Ca⁺²/SO4⁻², (c) Na⁺/SO4⁻², (d) Na⁺/Ca⁺², (e) SO4⁻²/Cl⁻, (f) $[(Mg^{2+}+Ca^{+2}) - (SO4^{-2}+HCO3^{-1})]/(Na^++K^+-Cl^-)$ des eaux de l'aquifère superficiel.

5. Conclusion

L'étude géochimique des eaux souterraines de l'aquifère superficiel de la cuvette d'Ouargla a permis d'évaluer la qualité des eaux vis-à-vis à l'approvisionnement en eau potable et à l'irrigation, et mettre en évidence les différents processus géochimiques qui contribuent à la minéralisation de ces eaux.

Les analyses chimiques montrent que les eaux de l'aquifère superficiel sont dominées par des facies évaporitiques. Les valeurs de la salinité oscillent entre 2,3 g/l (P162) et 281 g/l (P059).

L'étude de la qualité des eaux montre qu'elle n'obéit pas aux normes de l'eau potable de l' (OMS). Elles sont fortement minéralisées et présentent des teneurs en nitrates dépassant les valeurs recommandées. Quant à la qualité d'eau pour l'irrigation, basée sur les normes de Riverside, elles sont de qualité médiocre à mauvaise.

L'étude statistique et géochimique nous permis de dire que la minéralisation des eaux de l'aquifère superficiel est liée à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier), au phénomène d'échange de base et des apports anthropiques (pollution). On note aussi la forte





évaporation causée par la faible profondeur de la nappe qui à conduite à la minéralisation excessive des eaux jusqu'à la saturation pour les minéraux carbonatés, le gypse et l'anhydrite.

RERERENCES

[1]Cornet, A., 1964. Introduction à l'hydrogéologie Saharienne. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique 61, 5–72.

[2]OSS (Observatoire Sahara et Sahel)., 2003. Système aquifère du Sahara septentrional: gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.

[3]UNESCO., 1972. Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. (7 vols. et annexes). UNESCO, Paris, France.

[4]Zeddouri A. (2008). Caractérisation hydrogéologique et hydrochimque des nappes du complexe terminal de la région de Ouargla. Th. Doctorat, Univ. Annaba.

[1]Rodier, J., 1984. L'analyse de l'eau, 7^{ème} édition DUNOD, 1353p.

[1]Piper, A.M., 1944. Graphical interpretation of water analysis, Transactions of the American Geophysical Union. 25:914 -923.

[5]OMS (Organisation Mondiale de la Santé). 2004. Directives pour la qualité de l'eau de boisson, Vol 1 Recommendations, 3ème édition, OMS, Genève. Available from: http://www.who,int/entity/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_prel_1a5, pdf.

[6]Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline alkali soils. Washington, DC: US Department of Agriculture, Handbook no. 60.

[7]Bouselsal, B., 2016. Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère libre d'El Oued souf (SE Algérie). Th. Doctorat, Univ. d'Annaba, 204 p.

[8]Schoeller, H., 1962. Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie. Editions, 642 p.

[9]Garcia, M.G., De Hidalgo, M., and Blesa, M.A., 2001. Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucuman province Argentina. Journal of Hydrology, 9, 597–610.

[10]Mc Lean, W., Jankowski, J., and Lavitt, N., 2000. Groundwater quality and sustainability in alluvial aquifer, Australia. In: Sililoo et al., eds. Groundwater, past achievement and future challenges. Rotterdam: Balkema, 567–573.