

Etude de la qualité des eaux souterraines dans la région d'ouled chamekh

M'nassri Soumaia¹, Majdoub Rajouene¹, Dridi Lotfi¹, Mansour Mohsen², Hchicha Mohamed³

⁽¹⁾Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, BP 47, 4042 Chott Mariem, Tunisie

⁽²⁾Centre Régional de Recherche en Horticulture et Agriculture Biologique, BP 57, 4042 Chott Mariem, Tunisie

⁽³⁾Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, BP 10, 2080 Ariana, Tunisie

mnassrisoumaya@hotmail.com

RESUME

L'accès limité aux ressources hydriques, en qualité, est l'un des principaux facteurs freinant le développement. Ces ressources sont confrontées au risque des facteurs d'origines naturelle et anthropique convergents qui ont induit leurs dégradations. Dans ce contexte, la salinisation est l'une des principales causes de la dégradation de la qualité des eaux souterraines. Cette salinisation est de plus en plus accentuée dans les régions arides et semi-arides dont les ressources en eaux douces sont limitées. Le présent travail s'inscrit dans la lignée de suivre l'évolution géochimique de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la région d'ouled chamekh par la détermination des concentrations en ions majeurs. Les résultats obtenus ont montré, entre autres, que la salinité des eaux est élevée et variable dans l'espace. La conductivité électrique oscille entre 4,43 et 10,30 mS/cm avec une concentration décroissante de l'amont vers l'aval suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines. Les analyses ont montré que les ions les plus dominants sont le chlorure et le sodium pour donner deux faciès géochimiques dans la région. La partie Ouest est caractérisée par un faciès chloruré sodique et la partie Est est caractérisée par un faciès chloruré sulfaté.

Mots clés : Eaux souterraines, faciès géochimique, ouled chamekh, salinité.

SUMMARY

The limited water resource, with good quality, is one of the main factors hindering the development. These resources are facing the natural and anthropogenic risk inducing their degradation. In this context, the salinization is one of the main causes of the degradation the groundwater quality. This salinization is largely widespread, especially, in arid and semi arid regions where freshwater is limited. This work aims to follow the geochemical evolution of the groundwater quality of the ouled chamekh region by the determination of their concentrations on major ions. The results show, among others, that salinity is generally high and variable with time. The electrical conductivity varied between 4.43 and 10.30 mS/cm with a decreasing concentration from the upstream to the downstream, following the groundwater flow direction. In addition, this study reported that the most dominant ions are chloride and sodium which gave two geochemical facies in the region. The western part is characterized by a sodium chloride facies and the eastern part is characterized by a sulphate chloride facies.

Key words: Groundwater, geochemical facies, ouled chamekh, salinity.

1. INTRODUCTION

Ces dernières années, les ressources hydriques souterraines sont devenues un sujet de préoccupation à l'échelle planétaire à cause de plusieurs facteurs notamment l'exploitation intensive générée par l'accroissement démographique et le développement agricole et industriel (Tao *et al.* 2013). En effet, cette exploitation convergeant avec les changements climatiques induisent une menace sur la pénurie, des eaux souterraines, d'une part et sur la détérioration de leur qualité, d'autre part (Yidana *et al.* 2010). Selon Trabelsi *et al.* (2005), la dégradation de la qualité des eaux souterraines est généralement exprimée par la contamination et la salinisation. Cette dernière est générée par plusieurs fléaux à savoir l'utilisation excessive des engrais chimiques (Eldrige *et al.* 2009), les effluents industriels et domestiques, etc. Dans certains cas, la salinité résulte d'une intrusion de l'eau de mer causée par la surexploitation des ressources hydriques souterraines (Bourhane 2010). L'intrusion touche également les zones côtières ayant un climat à dominance aride et semi aride comme le cas de la Tunisie (Ben Hammouda *et al.* 2013).

Les zones côtières sont, généralement, surpeuplées avec des terres fertiles et des activités agricoles irriguées diversifiées. Ainsi, l'exploitation anarchique et abusive des eaux souterraines a conduit, dans certains cas, à l'intrusion marine (Werner *et al.* 2013). Dans ce contexte, les recherches traitant la

qualité des eaux sont nombreuses (Hamed et Dhari (2013), El Yaouti *et al.* (2009), Alcalà et Custodio (2008), etc.). Ces recherches ont expliqué, à travers les études hydro-chimiques, que la salinisation des eaux souterraines se manifeste par l'augmentation des matières totales dissoutes et des constituants chimiques spécifiques tels que le chlorure, le sodium, le magnésium, le nitrate et le sulfate. En effet, les études hydro-chimiques des eaux ont pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur degré de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation. Elles permettent de suivre aussi l'évolution spatiale des paramètres physiques et chimiques et d'estimer leur origine en les corrélant avec les faciès lithologiques (El Hammoumi *et al.* 2012).

Dans ce cadre, l'objectif de ce travail porte sur la caractérisation de la qualité des eaux souterraines de la région d'Ouled Chamekh. Les paramètres physico-chimiques sont ainsi examinés afin de déterminer les facteurs et les mécanismes contrôlant la chimie des eaux souterraines.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude est la nappe souterraine de Sid El Hani de la région d'Ouled Chamekh. Cette dernière est située au Centre-Ouest du Gouvernorat du Mahdia (Figure 1). Elle est limitée au Nord-Est par le sebkhat Sidi El Hani, au Nord-Ouest par le Gouvernorat de Kairouan et au Sud-Est par la délégation de Souassi. Cette région se caractérise par un climat aride dont les précipitations sont variables dans le temps et dans l'espace. Elles atteignent une moyenne de l'ordre de 238 mm/an. La température moyenne mensuelle est de l'ordre de 20°C, alors que la vitesse du vent dépasse assez souvent 20 m/s.

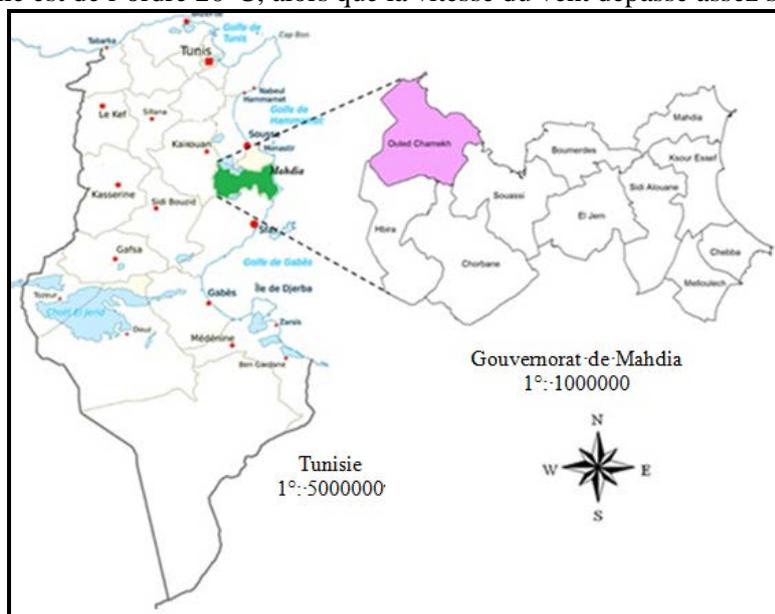


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

2.2. Méthodologie

Quatre campagnes d'échantillonnage d'eau ont été effectuées sur 29 puits couvrant la zone d'étude. Le prélèvement a été effectué, selon la norme ISO 5665, dans des bouteilles en plastiques identifiées et conservées au froid (2 à 4°C) pour l'analyse des paramètres chimiques. Les paramètres analysés sont la conductivité électrique (CE), le pH, le résidu sec (RS) et les éléments majeurs (Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} et HCO_3^-).

La mesure de la CE a été réalisée par la méthode de Richard à l'aide d'un conductimètre et celle du pH par la méthode électrométrique à l'aide d'un pH mètre à lecture directe. Pour les éléments majeurs, les méthodes utilisées sont : la colorométrie pour le sulfate, la Titrimétrie pour le chlorure et le bicarbonate, et la spectrophotométrie pour le sodium, le calcium et le potassium.

Les coordonnées géographiques (X, Y, Z) de chaque point d'eau ont été mesurées à l'aide d'un GPS (Global Positioning System). Ces coordonnées ont été la base des données traitées par le logiciel ArcView afin de déterminer la répartition spatiale des éléments chimiques analysés. La figure 2 présente la localisation des puits prélevés.

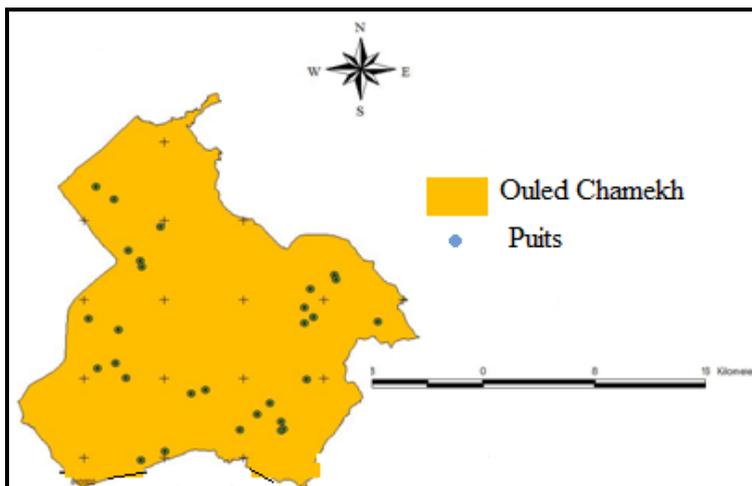


Figure 2. Localisation des puits

Les diagrammes de Piper, de Pheereq, et de Riverside ont été utilisés pour l'étude hydrochimique des eaux. Le diagramme de Piper est utilisé pour définir le faciès type des eaux. Celui de Pheereq permet le calcul de l'indice de saturation dans les eaux souterraines en fonction du TDS (taux des matières dissoutes) pour déterminer l'origine de la salinité. Alors que le diagramme de Riverside permet d'étudier la qualité des eaux souterraines en vue de l'usage agricole

3. RESULTATS

3.1. Paramètres physiques

Le pH des eaux souterraines de la région d'ouled chamekh est légèrement basique oscillant entre 7,74 et 8,10 avec une moyenne de 7,95 et un coefficient de variation proche de zéro, ce qui indique une variabilité très faible pour les eaux souterraines. Pour la CE, elle oscille entre 4,43 et 10,30 mS/cm avec une concentration décroissante de l'amont vers l'aval suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines, soit du Sud-Ouest vers le Nord-Est (direction sebkhat Sidi El Hani). La figure 3 montre, respectivement, l'évolution de la CE en fonction du rapport carbonates/évaporites et du rapport chlorure/sulfates. Cette évolution a dévoilé que la CE se trouve influencée tant par les évaporites que par les carbonates et par les chlorures que les sulfates.

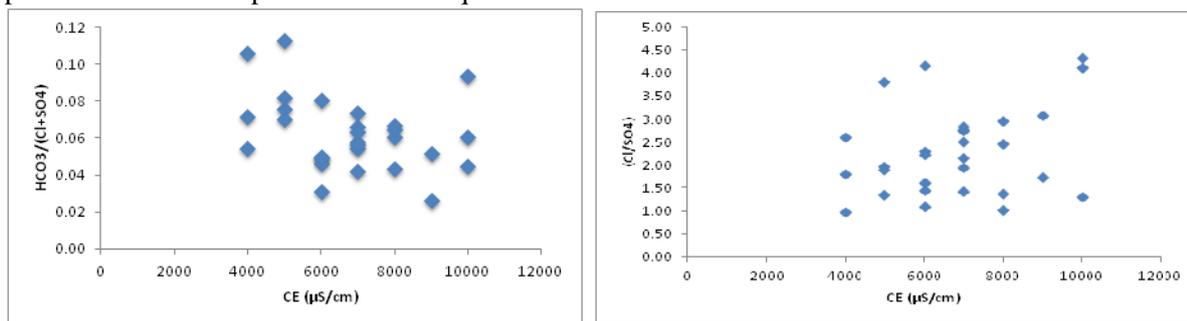


Figure 3. Evolution de la CE en fonction du rapport carbonate/évaporite et chlorure/sulfate

3.2. Faciès chimique

Le diagramme de Piper nous a permis d'estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification. D'après ce diagramme, on remarque que 50% des puits ont un faciès géochimique chloruré sodique et 50% ont un faciès géochimique chloruré sulfaté (Figure 4).

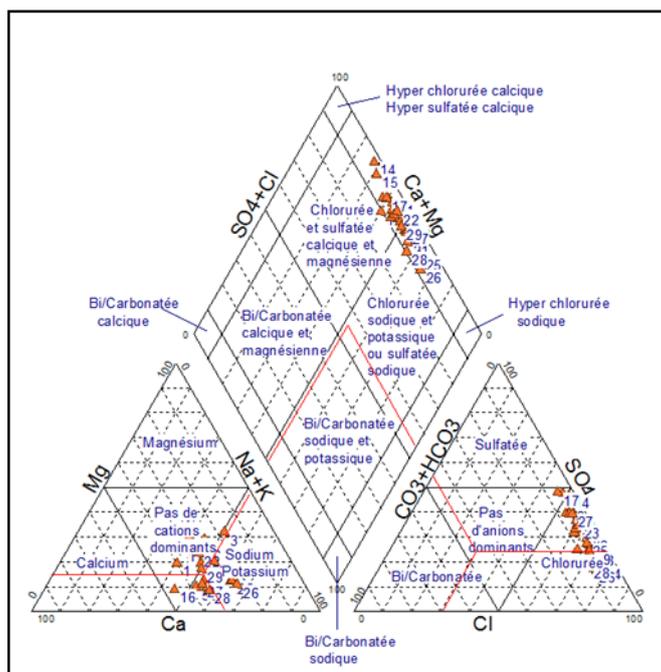


Figure 4. Diagramme de Piper

3.3. Répartition spatiale des éléments chimiques en ions majeurs

Le résultat des analyses des eaux souterraines en ions majeurs montre que le sodium est le cation le plus dominant avec des teneurs variant de 25 à 100 meq/l. D'après la figure 5a, la concentration en sodium augmente en se rapprochant de Sebkat de Sidi El Hani contrairement à l'Est de la zone d'étude où la concentration diminue pour atteindre sa valeur minimale. Par ailleurs, la teneur en potassium mesurée (Figure 5b) est faible par rapport aux autres cations où les concentrations varient entre 0,29 et 6 meq/l. Ainsi, la zone d'étude peut être scindée en deux zones ; une à l'Ouest avec des concentrations supérieures à 0,43 meq/l et une autre à l'Est avec des concentrations comprises entre 0,29 et 0,43 meq/l. Concernant le calcium, la teneur varie entre 19,8 et 66,8 meq/l (Figure 5c). Ce dernier a une tendance de présenter une répartition inverse à celle du potassium. Ceci montre bien que la partie Ouest est caractérisée par des eaux plus chargées en calcium que la partie Est de la région d'ouled chamekh. Pour le magnésium, la répartition est caractérisée par une variabilité moyenne. Elle est comprise entre 18,4 et 31,5 meq/l à l'exception des zones Nord-Ouest et Sud-Ouest où la concentration varie entre 5 et 18 meq/l (Figure 5d). La zone Est et la zone Ouest contiennent des eaux souterraines très chargées en chlorures (Figure 5e). La partie centrale contient des eaux souterraines dont la teneur en chlorures ne dépasse pas la concentration moyenne (55 meq/l). Les chlorures ont une tendance de minéralisation très forte avec la conductivité électrique. La concentration en ions sulfates est caractérisée par des teneurs élevées. Elle varie de 10,90 à 67 meq/l avec une valeur moyenne de 27,8 meq/l. Pour les bicarbonates, la figure 5g montre de très faible quantité. Ils varient entre 2,6 et 7 meq/l avec une valeur moyenne de 4,8 meq/l.

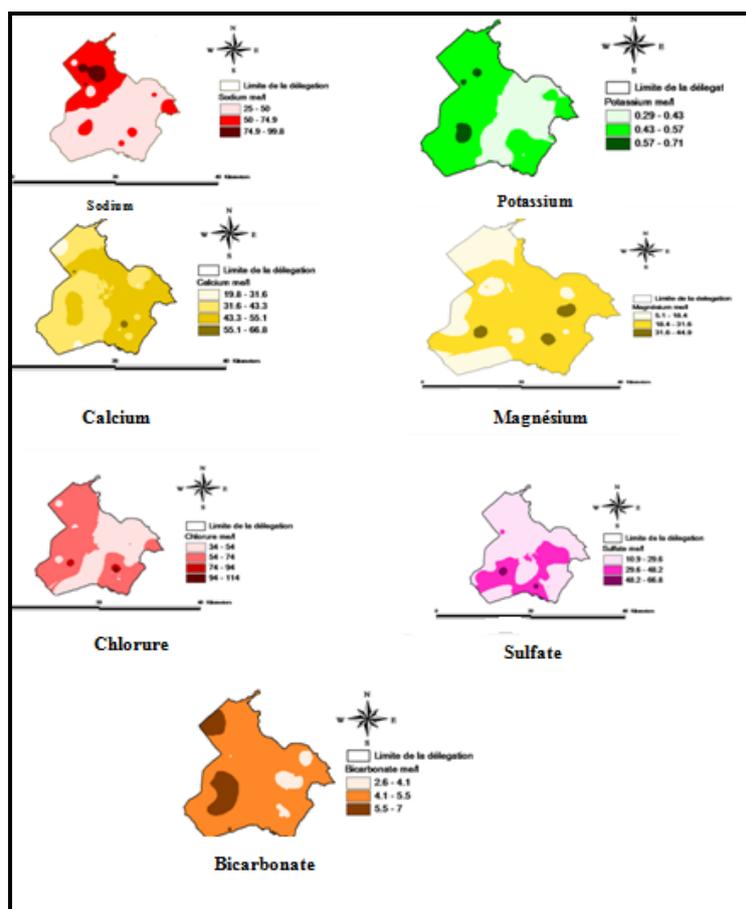


Figure 5. Répartition spatiale des éléments chimiques en ions majeurs

3.4. Indice de saturation

L'indice de saturation calculé 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. L'utilisation du programme du Pheereq 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.

Les résultats significatifs de tous les échantillons d'eau souterraine illustrés dans le tableau 1 montrent que ces derniers sont saturés en calcite, en dolomite, et en aragonite, mais ils sont plutôt sous-saturés en ce qui concerne l'halite, le gypse, et l'anhydrite. Les échanges cationiques entre les argiles calciques (échangeant du calcium contre le sodium et le magnésium) génère la saturation des eaux par rapport à la calcite, aragonite et dolomite. Ainsi, les argiles, au cours de leur genèse, peuvent retenir une quantité des sels qui peuvent être repris par les eaux souterraines. Le phénomène de dissolution étant dépendant du degré de saturation des eaux vis-à-vis des minéraux.

Tableau 1. Indice de saturation dans les eaux souterraines

Variable	Min	Max	Moyenne
Is Halite	-4,85	-3,95	-4,44
Is Gypse	-0,75	-0,01	-0,30
Is Dolomite	2,20	2,69	2,43
Is Calcite	1,02	1,45	1,24
Is Aragonite	0,9	1,28	1,04
Is Anydrite	-0,96	-0,38	-0,54

3.5. Etude de la qualité des eaux souterraines en vue d'usage agricole

L'analyse du Taux de Sodium Absorbé (SAR) pour tous les échantillons analysés montre que 62% des

puits ont un SAR faible (<10) et 38% ont un SAR moyen ($10 < \text{SAR} < 20$). L'évaluation du degré d'alcalinisation et de sodicité est faite suivant le diagramme de Riverside. Les résultats obtenus, affirment que la qualité des eaux d'irrigation est médiocre à mauvaise, ce qui implique un risque de salinité élevé alors que le risque alcalin reste dans certains cas assez modéré (Figure 7).

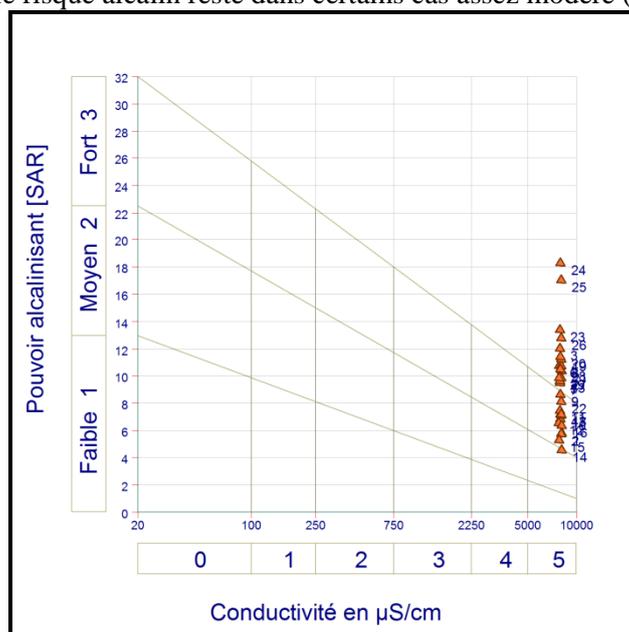


Figure 7. Diagramme de Riverside

4. CONCLUSION

Afin de mettre en évidence l'origine de la minéralisation des eaux souterraines de la nappe phréatique de la région d'ouled chamekh une étude hydrochimique a été élaborée. Ainsi, pour identifier les éventuelles dissolutions des minéraux responsables de la minéralisation, les relations entre le résidu sec et les éléments chimiques majeurs d'une part, et les relations entre ces éléments, d'autre part, ont été examinées. Les résultats ont dévoilé que la composition chimique des eaux souterraines est largement chargée en anions Cl^- et SO_4^{2-} et en cation Na^+ . Par contre, les éléments HCO_3^- et K^+ ne sont présents qu'en très faible pourcentage. De plus, un gradient croissant de la salinité a été noté du Sud-Ouest vers le Nord-Est (direction sebkhat Sidi El Hani). Le diagramme de Piper a montré qu'il y a deux faciès géochimiques dominants; le faciès chloruré sodique dans la partie Est et le faciès chloruré sulfaté dans la zone Ouest. L'utilisation de l'indice de saturation nous a permis de comprendre le processus de la minéralisation des eaux. Cette dernière proviendrait de la dissolution-précipitation de la roche aquifère, des évaporites et de l'échange de base. Ainsi, cette minéralisation présente une contrainte pour l'activité agricole. Elle peut engendrer la destruction de la structure des sols et la dégradation de sa qualité due au caractère alcalin des eaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alcalà J.F, Custodio E. (2008) : Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal, *Journal of Hydrology*, **19**, 189-207.
- Ben Hammouda M.F, Carreira P, Marques J.M, Egenkamps H. (2013) : Geochemical and isotopic investigation to study the origin of mineralization of the coastal aquifer of Sousse, Tunisia, *Earth and Planetary Science*, **4**, 61-64.
- Bourhane A. (2010) : Discrimination de l'origine de la salinité des masses d'eau souterraines : contexte hydrogéologique et méthodes d'étude. Mastère en Hydrogéologie, sol et environnement, Université d'avignon, 109 p.
- Eldrige K.Y, Barchia I, Pengelly P.K, Katupitiya S, Davis J.K. (2009) : A comparison of surface applied granulated biosolids and poultry litter in terms of risk to runoff water quality on turf farms in Western Sydney, Australia, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **8**, 243-250.

- El Hammoumi N, Sinan M, Lekhlif B, El Mahjoub L. (2012) : Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tadla, Maroc, *Afrique Science*, **13**, 201-221.
- El Yaouti F, El Mandour A, Khattach D, Benavente J, Kaufmann O. (2009) : Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study, *Applied Geochemistry*, **19**,16-31.
- Hamed Y, Dhari F. (2013) : Hydro-geochemical and isotopic composition of groundwater, with emphasis on sources of salinity, in the aquifer system in Northwestern Tunisia, *Journal of African Earth Sciences*,**15**, 10-24.
- Nazli I.E, Achour S, Djarbi L. (2007) : Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla), *LarhyssJournal*, 14p.
- Tao P, Yuanqing H, Tao Z, Jinkui W, Guofeng Z, Chang L. (2013) : Isotopic and geochemical evolution of ground and river waters in a karst dominated geological setting: A case study from Lijiang basin, South-Asia monsoon region, *Applied Geochemistry*,**14**, 199-212.
- Trabelsi R, Zairi M, Smida H, Ben Dhia H. (2005) : Salinisation de nappes côtières : cas de la nappe Nord du Sahel de Sfax, Tunisie, *Géoscience de surface : (Hydrologie et Hydrogéologie)*, **10**, 515-524.
- Yidanas S.M, Banoeng-Yabubo B, Akabazaa T.M. (2010) : Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana, *Journal of African Earth Science*,**15**, 220-243.
- Werner A.D, Bakker M, Post V, Vandenbohede A, Lu C, Ataie- Ashtiani B, Simmons C.T, Bary A.D. (2013) : Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges, *Advances in water Resources*, **12**, 3-36.