

# Caractérisation Géochimique Et Géométrique du Système Aquifère du Sahara Algéro-Tunisienne :

## Cas du Complexe Terminal de Région des chotts

Halassa Younes <sup>(1)</sup>, Zeddouri Aziez <sup>(2)</sup>, Kechiched Rabah <sup>(3)</sup>, Mouhamadou Ould Baba Sy<sup>(4)</sup>, and  
Abdeldjebbar Slimane Benhamida <sup>(5)</sup>.

<sup>(1-3)</sup> Laboratoires des réservoirs souterrains pétroliers gaziers et aquifères, Université Kasdi Merbah  
Ouargla. Ouargla 30 000, Alegria.

<sup>(5)</sup> Laboratoire de géologie du Sahara, Université Kasdi Merbah Ouargla. Ouargla 30 000, Algeria.

<sup>(4)</sup> Observatoire du Sahara et du Sahel, 1080Tunis, Tunisia

<sup>(5)</sup> National Agency of Hydraulic Resources (ANRH), Algeria

*Geolassa04@gmail.com*

*zeddouriaziez@yahoo.fr*

*rabeh21@yahoo.fr*

*slimbenha@gmail.com*

**Abstract**— Major ion geochemistry, Chadha diagram, saturation indexes, correlations between physico-chemical parameters and hydrochemistry evolution; were used to identify the origins and processes of groundwater mineralization in multi-layer system aquifers in the southern part of the of chotts region mining district (Algerian-Tunisian border). The results suggest that the shallow groundwater in the study area are mineralized salt waters. More than 91% of samples characterized by water type Ca-Mg-SO<sub>4</sub>/Cl, and the other samples are characterized by water type Na-Cl. As illustrated by the Chadha diagram. The relationships between TDS and major ions are useful for interpreting the main hydro geochemical evolution processes in an aquifer. For cations, there is a good correlation between Na<sup>+</sup> and TDS ( $R^2=0.67$ ), and the correlation of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> with TDS is good, with  $R^2= 0.30$  and  $R^2= 0.5$ , respectively. For anions, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and TDS have the highest correlation  $R^2=0.5$  followed by the correlation between Cl<sup>-</sup> and TDS ( $R^2= 0.4$ ).

**Key-Words**— Chotts Region, Chadha diagram, Groundwater mineralization, Geochemical evolution processes, TDS.

### I. INTRODUCTION

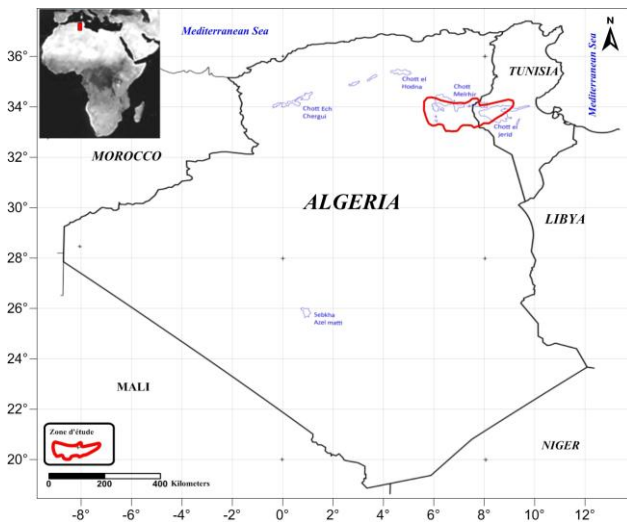
Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » s'étend sur une vaste zone couvrant une superficie d'environ 1.000.000 de km<sup>2</sup> dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye [1] (Fig.01)

L'alternance de couches imperméables et perméables d'une part, et l'existence d'un fossé de subsidence d'autre part, ont conduit à la mise en place de deux grands systèmes aquifères qui se partagent les ressources en eau souterraines dans la région des chotts : le Complexe Terminal (CT) [2] - [4], Dans la région des chotts, les nappes ont très tôt intéressé les géologues, et les premiers travaux datent du début du 20ème siècle. En (1903), le premier à prospecter les aquifères, a essayé de faire le point sur leur géométrie et comprendre leur fonctionnement hydrodynamique. À partir des années cinquante, Castany (1951-1956) a proposé un modèle géologique des différentes nappes du Sahara Algéro-Tunisienne y compris celles de la région des chotts.

En 2003, Oueld Babcy M. a largement contribué à la compréhension du système aquifère du SASS.

Cet auteur a bénéficié des apports géophysiques et géologiques disponibles pour mieux définir la géométrie des aquifères de la région des chotts.

La reconstitution de la configuration géométrique des systèmes aquifères représente une étape majeure dans la compréhension de leur fonctionnement hydrogéologique [6]. Cependant, l'état actuel des connaissances sur le système aquifère de région des chotts reste bien limité. En effet, ces travaux proposent un schéma global de fonctionnement hydrogéologique et l'actualisation de la géométrie des nappes dans la zone d'étude. (Fig. 1)



**Figure 1.** Localisation de la zone d'étude (Région des chotts Algéro-tunisiens).

Pour atteindre nos objectifs, une méthodologie couplant des approches hydrogéologique, hydrogéochimique, et la modélisation géologique (stratigraphique et lithologique), a été développée pour :

- Définir le comportement hydrogéologique de l'aquifère, caractériser le degré d'hétérogénéité des paramètres hydrodynamiques et comprendre les mécanismes gouvernant l'écoulement souterrain en relation avec la nature des formations géologiques ;

- Caractériser les faciès chimiques des eaux souterraines du système aquifère, comprendre les

processus de minéralisation des eaux, établir les interactions eau-roche et aussi l'origine de la salinité des eaux dans la zone d'étude.

- Élaborer un modèle géologique qui permettra de valider les données litho stratigraphiques des forages du système aquifère.

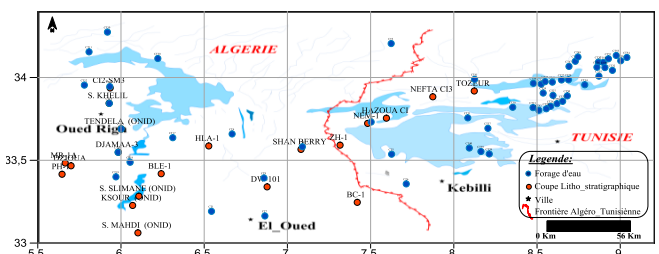
## II. CARACTÉRISTIQUE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOCHIMIQUE DU COMPLEXE TERMINAL

Le Complexe Terminal est, quant à lui, un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène [6] [7].

Les intercommunications entre Sénonien, Éocène et Miopliocène sont évidentes sur l'ensemble du Bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Éocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler [2].

Ce complexe est constitué d'un remplissage de formations continentales sablo-argileuses qui repose en discordance sur les calcaires érodés de l'Éocène inférieur, et affleure :

- Au Nord, dans le sillon des chotts Algéro-tunisiens (région d'étude).
- À l'Est, le long du flanc oriental du Dahar et du J. Nafusa,

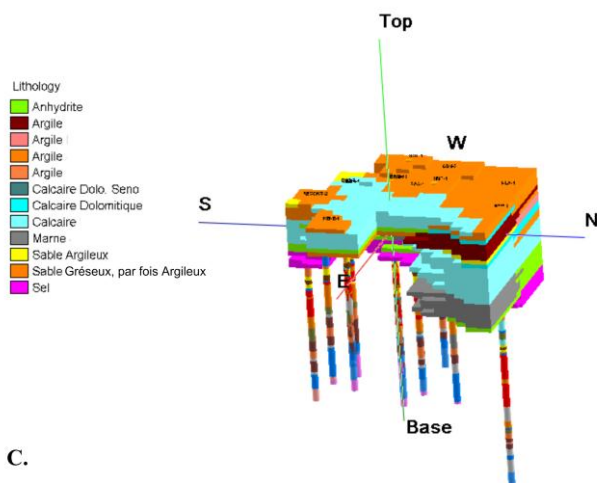
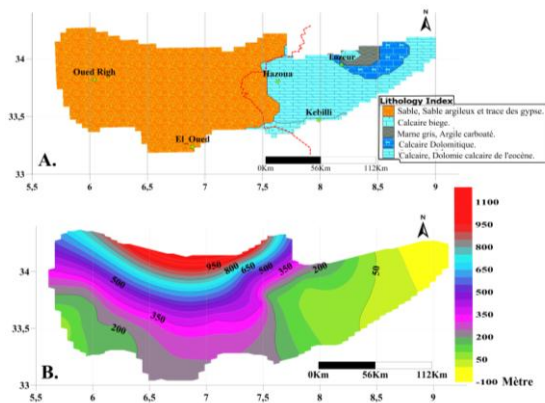


**Figure 2.** Localisations des Forages d'eau et logs Litho stratigraphiques dans la zone d'étude (Région des chotts Algéro-tunisiens).

Le Complexe Terminal (CT) se compose de deux ensembles aquifères principaux d'âge et lithologie différentes, séparées par des formations semi-perméables ou imperméables ce sont :

Dans le Bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental terminal (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts algéro-tunisiens, quelques centaines de mètres.

Les sables du **Mio-Plio-Quaternaire (CT1)**, couvrant en discordance pratiquement la totalité de l'Erg Oriental depuis la dorsale de M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar Tunisien à l'Est.



**Figure 3.** Aspect Géologique du Mio-PlioQuaternaire (CT1)  
**A.** Carte de répartition des faciès lithologiques  
**B.** carte des iso baths (Profondeurs)  
**C.** Modèle Lithologique

Dans la partie algérienne du système, le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse.

Dans la paries tunisienne, il est présent sous la Nefzaoua et le Djérid et présente essentiellement deux faciès :

- La formation Beglia attribuée au Miocène inférieur est constituée de sables avec des passées argileuses.
- La formation Ségui constituée d'argiles sableuses avec des niveaux conglomératiques dans la partie supérieure [7].

**L'Éocène :** La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m. L'épaisseur maximum se situant dans la zone du Bas-Sahara. (Fig.04)

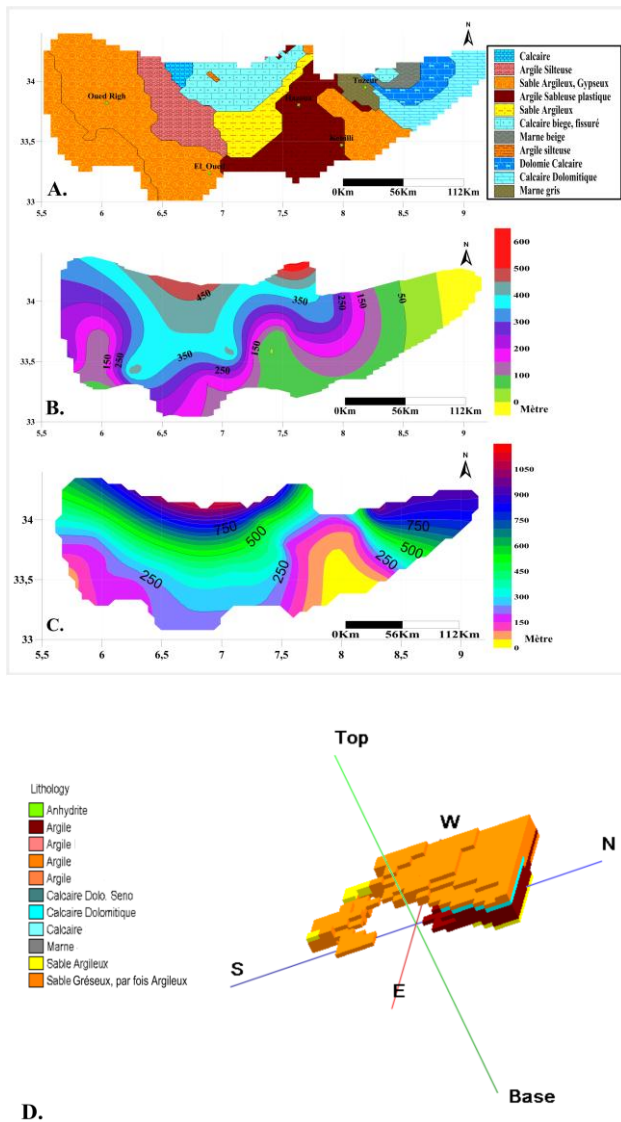
En Algérie, On distingue dans l'Éocène deux ensembles différents du point de vue lithologique.

- A la base, l'Éocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argiles et même d'anhydrite et de marnes.
- Au sommet, l'Éocène évaporitique est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts [10].

En Tunisie le **Paléocène-Éocène (CT2)**: Il joue un rôle limité dans l'hydrogéologie du bassin saharien tunisien. Il affleure entre la chaîne de Gafsa et la chaîne des chotts et comprend essentiellement :

- Une série argilo-marneuse à la base connue sous l'appellation de formation El Haria (Paléocène) ;
- Une série essentiellement carbonatée, phosphatée à la base : la formation Metlaoui ;
- Une série calcaire au sommet de la formation Metlaoui (**Éocène**) qui se

présente aussi sous un faciès évaporitique sur le versant sud de la chaîne des chotts avec des bancs de gypse massif.



**Figure 4.** Aspect Géologique du Paléocène-Éocène (CT2)

A. Carte de répartition des faciès lithologiques

B. carte des Épaisseurs

C. Carte des iso baths (Profondeurs)

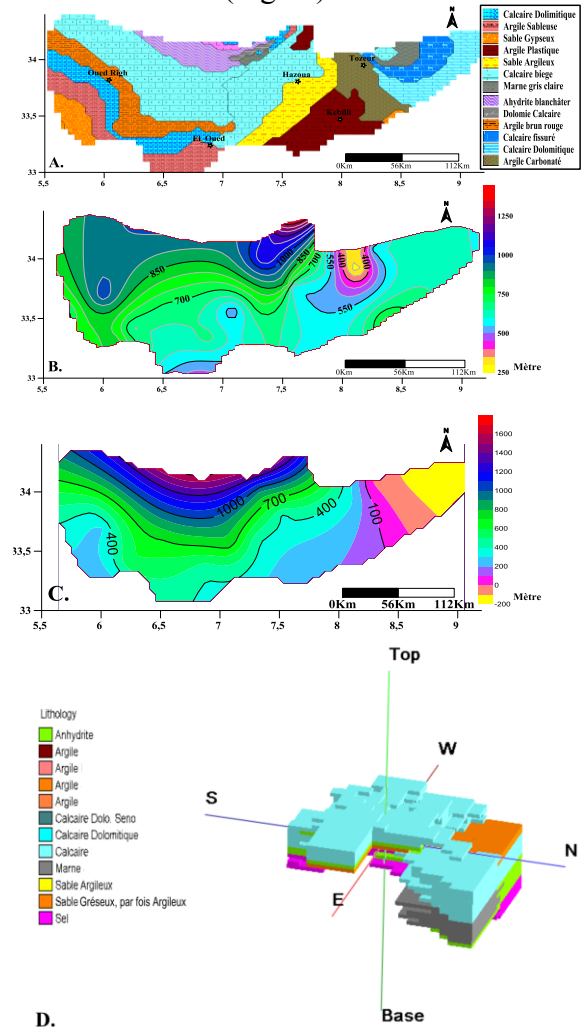
D. Modèle Lithologique

**Le Sénonien :** il s'individualise en deux faciès :

- Le Sénonien inférieur à sédimentation lagunaire caractérisé par des formations

argileuses et salifères à anhydrite et sel gemme ; il est très peu perméable [7].

- Le Sénonien supérieur ou Sénonien carbonaté : est constitué formation carbonatée perméable ; de calcaires et dolomies avec quelques alternances argileuses. Le Sénonien carbonaté au sommet, est un aquifère dans la région d'étude. (Fig.05)



**Figure 5.** Aspect Géologique du Sénonien Carbonaté

A. Carte de répartition des faciès lithologiques

B. Carte des Épaisseurs

C. Carte des iso baths (Profondeurs)

D. Modèle Lithologique

### Méthodologie :

Les paramètres analysés Au total, soixante-huit (58) échantillons d'eau souterraine ont été prélevés à partir de forages de forage CT en 2017, dont 20 échantillons de la région de l'Oued souf et 30 échantillons du bassin du Djerid qui ont été réalisés par Meriem Tarki et al. (2011) [25] ; sont la conductivité électrique (CE), le pH, le TDS (taux des matières dissoutes « mg/l ») et les éléments majeurs ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ). La mesure de la Conductivité électrique 'CE' a été réalisée par la méthode de Richard à l'aide d'un conductimètre et celle du pH.

Ont utilisés pour l'étude hydro chimique des eaux. Le diagramme de Chadha, 1999 pour définir le faciès type des eaux. Celui de PHREEQ C permet le calcul de l'indice de saturation dans les eaux souterraines en fonction du TDS pour déterminer l'origine de la salinité.

### Discutions des résultats

#### Paramètres physiques

Le pH des eaux souterraines de la région des chotts algéro-tunisien 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 (Conductivité électrique '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 vers chott Djérid).

#### Faciès Chimiques

Afin de classifier les échantillons d'eau souterraine en différents types d'eau et d'identifier les processus hydrochimiques qui contrôlent la minéralisation dans le système aquifère

multicouche, un diagramme Chadha [11] a été utilisé. Ce diagramme est une version quelque peu modifiée du diagramme de piper [13] et du diagramme de Durov élargi [12]. La différence est que les deux triangles équilatéraux ont été écartés dans le diagramme Chdha, les échantillons d'eau souterraine de la région d'étude se trouvent, révélant une eau de type Ca-Mg- $\text{SO}_4/\text{Cl}$  (Fig. 6). Dans ce domaine, les anions acides forts ( $\text{Cl}$  et  $\text{SO}_4$ ) dépassent les anions acides faibles ( $\text{HCO}_3$  et  $\text{CO}_3$ ). De plus, les alcalino-terreux (Ca et Mg) dépassent les alcalis (Na et K). Et les autres échantillons sont caractérisés par le type d'eau Na-Cl. avec un pourcentage inférieur à 10%. La prédominance du calcium et du sulfate sur le sodium et le chlorure s'explique par la dissolution du gypse et/ou de l'anhydrite, qui dominant la dissolution de l'halite.

Cependant, la dominance du magnésium et le manque de bicarbonate sont probablement liés à la dissolution incongrue de la dolomie, qui est généralement associée aux précipitations de calcite et à la dissolution du gypse [14].

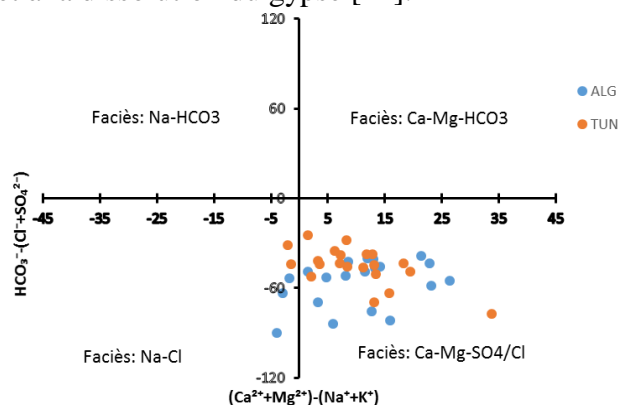


Figure 6. Diagramme Chadha pour les faciès chimiques du Complexe Terminal.

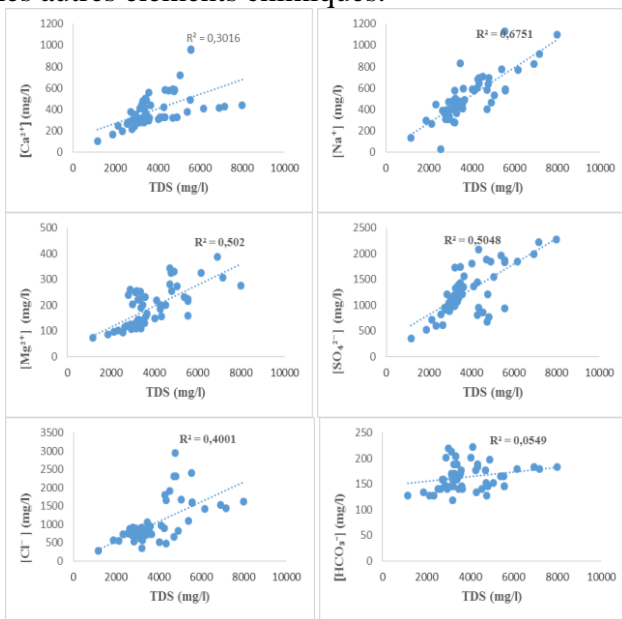
Les relations entre les TDS et les ions majeurs sont utiles pour interpréter les principaux processus d'évolution hydrogéochimique dans un aquifère et peuvent également être utilisées pour déduire les ions et l'origine des eaux souterraines [15].

La Fig.7 montre, respectivement, la corrélation est utilisée pour évaluer les relations entre les

éléments chimiques majeurs des eaux souterraines et donne un aperçu sur la salinité des eaux pour une gestion efficace de la qualité de l'eau. Une forte corrélation positive a été observée entre le TDS et  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$ . Ils sont des indicateurs de l'importance de ces ions dans la chimie des eaux souterraines de la zone d'étude [16].

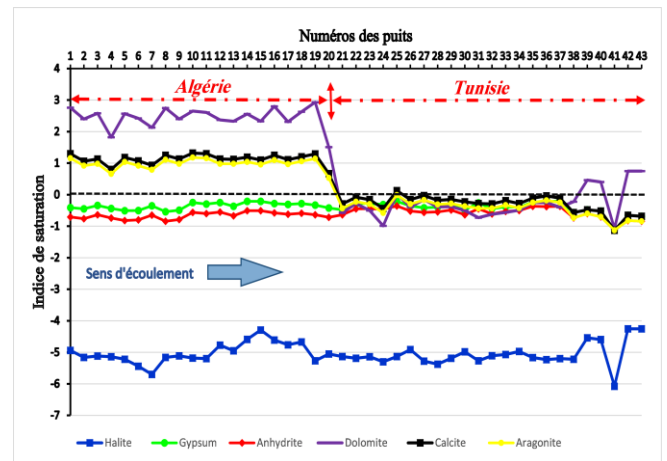
La corrélation entre le TDS et le  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Na}^+$  ( $R^2 > 0,5$ ) a été identifiée, ce qui indique que ces ions contrôlent la chimie des eaux souterraines dans certains puits du secteur d'étude.

La faible corrélation de  $\text{HCO}_3^-$  avec le TDS peut s'expliquer par l'origine différente de cet ion avec les autres éléments chimiques.



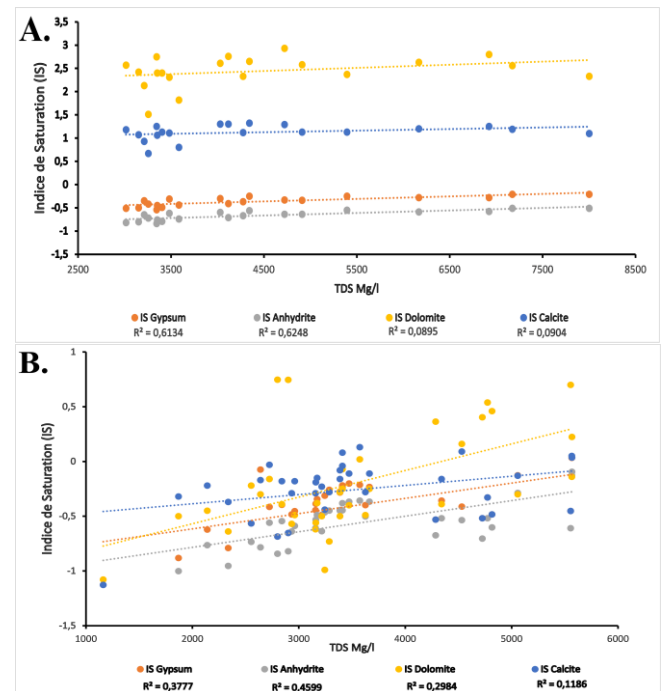
**Figure 7.** Variation des concentrations des éléments majeurs en fonction de la salinité des eaux (TDS).

La corrélation positive entre les ions majeurs et le résidu sec traduit la participation de ces éléments à l'acquisition de la charge saline des eaux souterraines et témoigne de la présence d'une source commune de minéralisation qui ne peut être que la dissolution des évaporites telles que l'halite et le gypse [17]. Ceci est corroboré par les indices de saturation (Is) calculés par le programme WateqF [18]



**Figure 8.** Les Indices de saturation du Complexe Terminal (Région des Chotts)

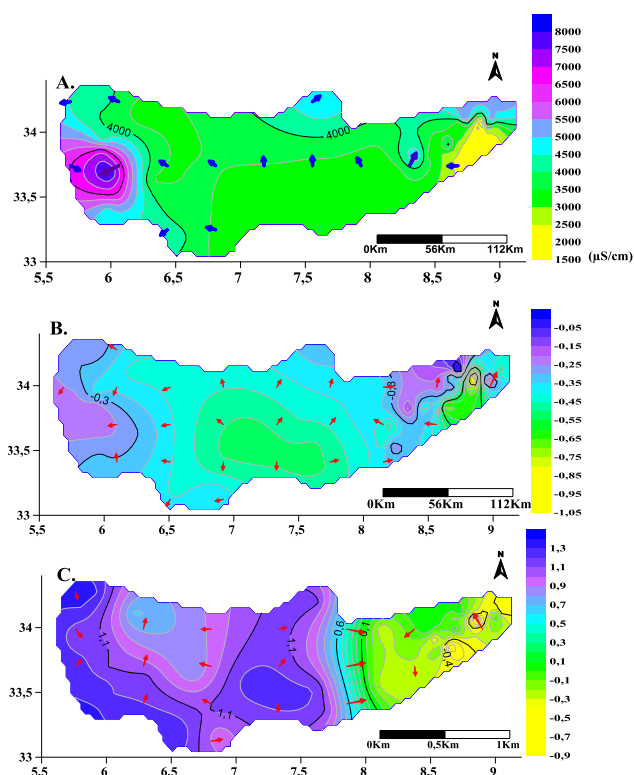
Les valeurs des Indices de saturations de Calcite, Dolomite et Aragonite pour tous les échantillons d'eau dans la partie Algérien sont supérieures à zéro (Fig.8) indiquant une sursaturation et une précipitation potentielle de ces minéraux carbonatés. Par contre, les Indices de saturations de gypse, d'anhydrite et d'Halite sont inférieurs à zéro dans toute la zone d'étude (Fig.8), ce qui indique que le gypse, l'anhydrite et l'halite peuvent être dissous par les eaux de la nappe sur le trajet d'écoulement.



**Figure 9.** Diagramme des indices de saturation des minéraux en fonction du TDS. **A.** partie Algérienne et **B.** partie Tunisienne

L'eau souterraine s'écoulant vers la zone des décharges (zone des Chotts), de nombreuses interactions entre l'eau et la roche se produisent, et les eaux souterraines peuvent atteindre l'équilibre avec ces minéraux. Par conséquent, le TDS dans les eaux souterraines augmentera également le long du trajet d'écoulement de l'eau souterraine en raison de la dissolution progressive des minéraux [19]. Le tracé du 'IS' (Indice de Saturation) par rapport au 'TDS' (Fig.9) est très utile pour analyser l'évolution des eaux souterraines le long du trajet d'écoulement.

Les valeurs des indices de saturation du Gypse, Anhydre, et l'Halite sont inférieures à zéro sur toute la zone d'étude. La corrélation entre eux et le TDS est très significative dans la partie sud-est (partie d'Algérie) par rapport la région sud de la Tunisie (Fig. 09).



**Figure 10.** Carte des iso valeurs dans la région des chotts  
**A.** Conductivité électrique **B.** Indice de Saturation du Gypse, **C.** Indice de Saturation du Calcite

Les valeurs du SI de la Dolomie et de la calcite sont supérieures à zéro juste dans la partie Algérienne et présentent de bonnes corrélations positives avec le TDS, ce qui suggère le gypse et l'anhydrite se dissolvent dans les eaux souterraines le long du trajet d'écoulement et augmentent leur concentration avec le TDS (Fig.10).

### III. CONCLUSION

La représentation des analyses chimiques des eaux profondes sur les diagrammes Chadha a permis la mise en évidence de deux faciès chimiques, le premier *Ca-Mg-SO4/Cl* caractérisant sur toute la région et le second chloruré sodique *Na-Cl*

Les cartes de variabilités spatiales des indice de saturation, les ions majeurs, et la salinité tel que la conductivité électrique laisse entendre que nous sommes en présence d'une certaine compartimentation géologique et physicochimique du secteur d'étude et d'une direction générale fort probable d'écoulement des eaux souterraines du Sud-Ouest vers Nord-Est (Fig.10).

L'évolution de la TDS en fonction des éléments chimiques (cations et anions) du rapport carbonates/évaporites et du rapport chlorure/sulfates. Cette évolution a dévoilé que la salinité (TDS) se trouve influencée tant par les évaporites ( $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ , et  $Mg^{2+}$ ) que par les carbonates ( $HCO_3^-$ , et  $Ca^{2+}$ ) et par les chlorures que les sulfates.

Les corrélations entre ces ions majeurs et le TDS et les indices de saturation des minéraux suggèrent les réactions suivantes le long du trajet d'écoulement.

Les corrélations positives modérées ont été observées entre  $Mg^{2+}$ , et  $Na^+$ , et  $Cl^-$ , ce qui indique que ces éléments jouent également un rôle dans la définition de la chimie des eaux souterraines de cet aquifère.

## REFERENCES

- [1] OSS (Observatoire Sahara et Sahel) (2003) Système aquifère du Sahara septentrional : gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.
- [2] Bel F, Demargne F (1966) Etude géologique du Continental Terminal; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches, 22 p
- [3] Pallas P (1980) Water resources of the Socialist People's Arab Libyan Republic. In: Salem MJ, Buswille MT (eds) The geology of Libya, vol II. ed. Academic Press, London
- [4] Mamou, A. (1990) Caractéristiques, évaluation, gestion des ressources en eau du sud tunisien. Thèse de Doctorat, Univ. Paris Sud, France.
- [5] Castany, G. (1951-1957) L'accident sud tunisien et ses relations avec l'accident sud-atlasique. C. R. Acad. Sci., Paris 238.
- [6] ERESS (1972) Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. La nappe du continental intercalaire. Modele mathématique. Plaquette 2. Rapport final, UNESCO, p 122
- [7] Busson, G. (1970) Le Mésozoïque saharien, tomes 1 et 2. Centre National de Recherche Scientifique, Paris, France.
- [8] FABRE, (1974): Le Sahara: un musée géologique, La Recherche N°42. Février.
- [9] Baba-Sy O (2005) Recharge et paleorecharge du Systeme Aquifere du Sahara Septentrional. These de Doctorat, Université de Tunis El Manar, Tunisie, pp75- 261
- [10] BEL, F. & CUCHE, D., (1970): Etude des nappes du complexe Terminal du bas Sahara Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématiques. Direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'Ouargla.
- [11] Chadha DK (1999) A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. Hydrogeol J 7:431-439.
- [12] Durov SA (1948) Natural waters and graphic representation of their compositions. Dokl Akad Nauk SSSR 59:87-90
- [13] Piper AM (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans Am GeophysUnion 25:914-923
- [14] HamedY, Dassi L, Tarki M, Ahmd R, Mehdi k, Ben dhia H. (2011) Groundwater origin and mixing pattern in the multilayer aquifer system of the Gafsa-south mining district: a chemical and isotopic approach Environ Earth Sci (2011) 60:1355-1368
- [15] Kumar PS (2014) Evolution of groundwater chemistry in and around Vaniyambadi industrial area: differentiating the natural and anthropogenic sources of contamination. Chemie der Erde Geochemistry 74(4):641-651.
- [16] Mondel NC, Singh VS, Saxena VK, Singh VP (2011) Assessment seawater impact using major hydrochemical ions: case study from Sadras, Tamilnadu, India. Environ Monit Assess 177(1-4):315-335
- [17] Kamel, S., 2007. Caractérisation hydrodynamique et géochimique des aquifères du Djérid (Sud Ouest Tunisien). Thèse (Doctoral). Université Tunis II, Tunisie.
- [18] Plummer, L. N., Jones, B. F. & Truesdell, A. H. (1976) WATEQF, a Fortran IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. US Geol. Survey Water Res. Invest. Report 76.
- [19] Peiyue Li, Jianhua Wu, Hui Qian (2014) Hydrogeochemistry and Quality Assessment of Shallow Groundwater in the Southern Part of the Yellow River Alluvial Plain (Zhongwei Section), Northwest China. Earth Science Research Journal Vol. 18, No. 1 (June, 2014): 27-38
- [20] Rock Works 16 Training Manual (2013) Solid Model Algorithms. RockWare, Golden.
- [21] Nazli I.E, Achour S, Djarbi L. (2007) : Approche géochimique des processus d'acquisition de la
- [22] salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla), LarhyssJournal, 14p.



- [23] Agence Nationale des Ressources Hydrique  
ANRH
- [24] Tarki M (2008) Relations hydrauliques entre les aquiferes superposes du bassin de Djerid: approches geochimique et isotopique. DEA, Univ Sfax, Tunisia, p 95
- [25] Meriem Tarki et al. Geochemical and isotopic composition of groundwater in the Complex Terminal aquifer in southwestern Tunisia, with emphasis on the mixing by vertical leakage (2011). Environ Earth Sci J 64:85–95