



Intrusion minérale par modélisation géochimique dans les textures sableuses des sols. Le cas du Sahara septentrional algérien

Mineral intrusion by geochemical modeling in the sandy textures. The case of the northern Algerian Sahara

A. Idder^{1*}, I. E. Nezli², T. Idder¹, H. Cheloufi¹, A. Serraye¹

¹Univ Ouargla, Fac. des Sciences de la Nature et de la vie, Lab. de Recherche sur la Phoeniciculture, Ouargla, Algérie

²Univ Ouargla, Fac. des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables, et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Lab. de Géologie du Sahara, Ouargla 30 000, Algérie

*Corresponding author :E.mail : imedinezli@yahoo.fr

Abstract

The arid zones of the northern Sahara are known for their characters of hydromorphic soils and halomorphie. They have always had with the scientific community a reputation of difficulty for the agricultural use. The area experienced in the summer period, concerned a natural soil Sandy, supplied in depth by the groundwater of Quaternary age.

In order to lead to a physical and chemical characterization of this soil on the one hand, and the identification of the order of saline precipitation in the majority on the other hand, the thermodynamic model geochemistry at 25°C (*phreeqc model*), has highlighted for three profiles the track neutral saline in recital the chlorine ion as a tracer stable.

It has been shown in addition that from logarithm concentration factor ($\log FC \leq 0.2$), all the calcite are supersaturated, where their priority precipitation in the surface horizons: P1H0, P2H0 and P3H0. This calcium precipitation is confirmed by the values of $pH > 8.5$. It is essentially of the calcite ($CaCO_3$), the magnesite ($MgCO_3$) and dolomite ($CaMg (CO_3)_2$). Regarding the solutions sulphated, precipitation in the majority are found mainly in the median horizons P1H2, P2H2 and P3H2 from $FC = 1.24$, corresponding to a crystallization of chloride ions from 280 ct/l and sulphate ions from 324 ct/l. Among the soluble minerals, halite ($NaCl$) is the mineral most close to the saturation.

Keywords : sandy soil, saline precipitation during summer, the Sahara of Ouargla

Résumé

Les zones arides du Sahara septentrional sont connues pour leurs caractères d'hydromorphie et d'halomorphie. Elles ont toujours eu auprès de la communauté scientifique une réputation de difficulté pour l'usage agricole. La zone expérimentée, en période estivale, a concerné un sol naturel sableux, alimenté en profondeur par les eaux d'une nappe phréatique d'âge quaternaire.

Dans le but d'aboutir à une caractérisation physique et chimique de ce sol d'une part, et à l'identification de l'ordre des précipitations salines majoritaires d'autre part, le modèle thermodynamique géochimique à 25°C (*modèle phreeqc*), a mis en évidence pour trois profils la voie saline neutre en considérant l'ion chlore comme traceur stable.

Il a été montré en outre qu'à partir de logarithme Facteur de Concentration ($\log FC \leq 0,2$), toutes les calcites sont sursaturées, d'où leur précipitation prioritaire dans les horizons de surface : P1H0, P2H0 et P3H0. Cette précipitation calcique est confirmée par les valeurs de $pH > 8,5$. Il s'agit essentiellement de la calcite ($CaCO_3$), de la magnésite ($MgCO_3$) et de la dolomite ($CaMg (CO_3)_2$). Concernant les solutions sulfatées, les précipitations majoritaires sont constatées principalement dans les horizons médians P1H2, P2H2 et P3H2 à partir de $FC = 1,24$, correspondant à une cristallisation des ions chlorures à partir de 280 méq/l et des ions sulfates à partir de 324 méq/l. Parmi les minéraux solubles, l'halite ($NaCl$) est le minéral le plus proche de la saturation.

Mots clés : Sol sableux, précipitations salines estivales, Sahara de Ouargla

1. Introduction

La ville de Ouargla appartenant au Sahara septentrional est-algérien (Kouzmine, 2003) est située à environ 800 km au Sud-est d'Alger au fond d'une vaste dépression sans exutoire (Figure 1).

Ouargla est située dans une zone appartenant à l'étage bioclimatique saharien à hiver doux. Son climat est caractérisé par une aridité nettement exprimée par un Indice d'aridité de de Martone (Im) = 1,2 et une sécheresse quasi permanente (De Martonne, 1926).

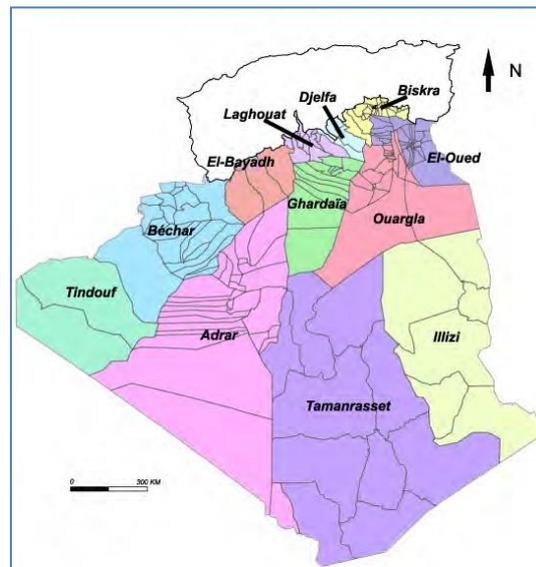


Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude

Le paysage pédologique de l'oasis de Ouargla est caractérisé essentiellement par son allomorphie et son hydromorphie (Idder et al. 2013). La nappe superficielle (phréatique) salée est souvent à fleur de sol. Cette ville est entourée de grandes surfaces de chotts et de sebkhas (Idder 2007).

Les grandes étendues nues répandues sur la plus grande partie du territoire algérien, particulièrement au Sahara, méritent d'être caractérisées du point de vue sols et salinisation. De mémoire d'Hommes, le sol nu, objet de cette étude, n'a jamais connu d'actions anthropiques soit par mise en culture soit par irrigation ; l'humidité de ce milieu est sous la dépendance d'une nappe phréatique peu profonde, alimentée essentiellement par les excédents hydriques urbains et agricoles et par une très faible pluviométrie caractéristique de la région, ne dépassant pas 40 mm/an, alors que l'évaporation annuelle est de l'ordre de 2000 mm/an (Idder 2007, Berkhal et al. 2012).

Les ressources hydriques dont dispose Ouargla appartiennent à trois aquifères : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal (formée par deux niveaux aquifères : le Sénono-Eocène et le Mio-Pliocène), deux aquifères fossiles et une nappe superficielle (phréatique) Du bas en haut nous avons (Figure 2) :

- ✓ Les grès et argiles sableuses du CI avec la nappe dite de l'Albien ;
- ✓ Les calcaires avec la nappe du Sénono-Eocène carbonatés ;
- ✓ L'ensemble détritique (sables, argiles et évaporites) des formations continentales avec la nappe du Mio-Piocène
- ✓ Une nappe libre (phréatique), contenue dans les formations et les sols sableux fins argileux et gypseux d'âge

Quaternaire.

Cette nappe phréatique est très salée, et par conséquent elle demeure non exploitée à l'échelle de la région (Cornet, 1964 ; Nesson 1978 ; Castany 1982 ; Nezli et al. 2007 ; Nezli, 2009).

Chronostratigraphie	Unités hydrogéologiques		Prof	Lithostratigraphie	Lithologie	
Quaternaire	Nappe phréatique		20m			
Tertiaire	Nappe du Complexe Terminal	Nappe des sables	120m	Mio-Pliocène		
		Impermeable		Eocène évaporitique		
		Nappe des calcaires (Sénono-Eocène)	520m	Eocène carbonaté		
		Impermeable	700m	Sénonien carbonaté		
Secondaire	Crétacé	Nappe du turonien	1100m	Sénonien lagunaire		
		Impermeable		Turonien		
		Nappe du Continental Intercalaire	Nappe de l'Albien	2000m	Cénomanién	
					Vraconien	
					Albien	
			Aptien			
			Barrémien			

Figure 2 : Stratigraphie de la zone d'étude

Les fondements géochimiques basés sur les précipitations des sels ont été consacrés à l'étude en période estivale d'un sol nu sableux marqué visiblement par les phénomènes d'hydromorphie et d'halomorphie (Idder et al. 2013). L'examen du sol en question est testé par l'application d'une modélisation thermodynamique à 25 °C " phreeqc, v.2", (Parkhurst et al, 1999) permettant la caractérisation et la détermination des intrusions et précipitations minérales dans les textures sableuses des sols quaternaires de la zone d'étude.

2. Description du cadre naturel de l'étude et méthodes

Les expériences ont été menées sur un sol nu naturel de l'exploitation de l'université de Ouargla, où trois profils ont été creusés suivant la même diagonale (Figure. 3) et suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines de la nappe phréatique (Ruellan & Dosso 1993).

- Date de prélèvement et de description des échantillons de sol : 08/07/ 2012
- Topographie : Forme plane avec une pente faible (< 1 %)
- Situation : l'exploitation agricole de l'Université de Ouargla
- Temps : Ensoleillé
- Végétation : inexistante
- Aspect de surface : Encroûtement salin (boursoufflures)
- Occupation du sol : sol nu sur toute la superficie d'étude (Idder et al. 2014).

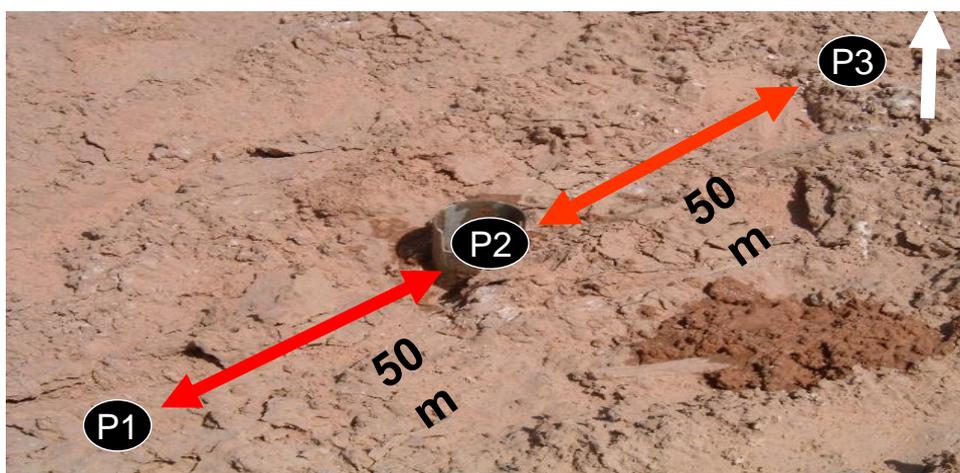


Figure 3 : Cadre naturel du site d'étude

Le travail consiste à tester que la salinité des sols nus résulte de la concentration des eaux de la nappe sous-jacente. L'estimation de la concentration des eaux se fait à l'aide d'un traceur chimique. Cette méthode a été utilisée par Valles (1987) dans la vallée de l'oued de medjerdah en Tunisie, Gueddari (1984) pour l'étude de la géochimie du lac Natron en Tanzanie et Chott Djerid en Tunisie, et Barbiero dans la vallée du fleuve Niger (1994) et Nezi (2009) sur les eaux de la nappe de la basse vallée de l'oued M'ya(Ouargla).

Le chlore est un bon indicateur de l'état de concentration d'une eau de nappe ou solution d'un sol, puisqu'il ne précipite qu'à des forces ioniques élevées (Droubi et al. 1976). Il est considéré comme un traceur stable et l'élément chimique le plus conservatif des évaporites. Il est très soluble et rarement impliqué dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydo-réduction (Bardeze 2008). Il est peu influencé par l'intervention des bactéries. On peut ordonner donc les analyses selon leur teneur en ion chlore et suivre l'évolution de la molalité (en mé/l) de chaque élément majeur (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+) depuis les échantillons d'eau les plus dilués aux échantillons les plus concentrés en fonction de la molalité croissante de Cl^- . Le facteur de concentration (Fc) des eaux a été estimé à partir du rapport entre la teneur en chlorure d'une eau et la plus petite teneur en chlorure observée sur l'ensemble des échantillons (nappe superficielle et solution du sol).

Dans un diagramme bi-logarithmique, nous avons placé en ordonnées les valeurs du log Molalité et en abscisses le log du facteur concentration. Le degré de saturation est apprécié par un Indice de Saturation (IS), tel que :
$$\text{IS} = \text{Log} (\text{IAP}/\text{K})$$
 ; avec IAP : est le produit d'activité ionique, K : est la constante d'équilibre.

Les échantillons prélevés à partir du sol ont été séchés, broyés et tamisés avant de subir les analyses chimiques, physico-chimiques (Baize 2000). Les paramètres analysés sont les éléments majeurs (Figure 4, Figure 5, Figure.6), grâce au spectrophotomètre DR 2800 et enfin la conductivité électrique et le pH.

3. Résultats et discussion

Il est à noter que seulement les concentrations des horizons fortement accumulés en sels ont été pris en compte en l'occurrence l'horizon superficiel à cause des fortes évaporations estivales symbolisé par H0, l'horizon médian à cause des fluctuations temporelles de la nappe symbolisées par H2 et enfin les concentrations de l'eau de la nappe phréatiques symbolisés par Pz (Figure 3, Figure 4, Figure 5). Les autres horizons sous-jacents voir H1 et H3 des trois profils ont été négligés du faite de leur concentrations insignifiantes.

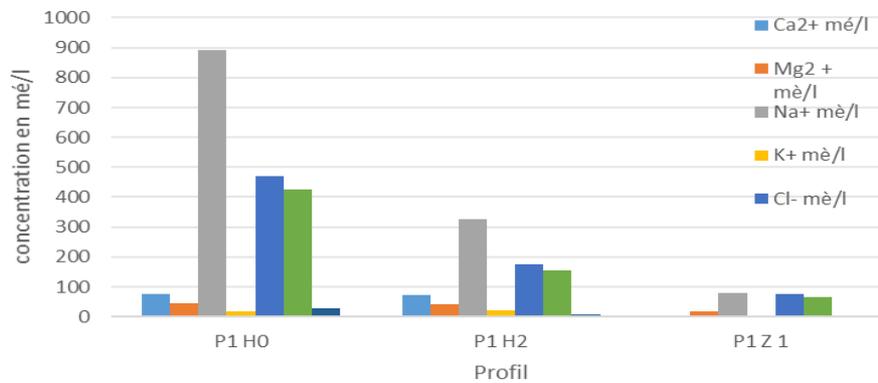


Figure 4 : Répartition des ions dans le profil 1

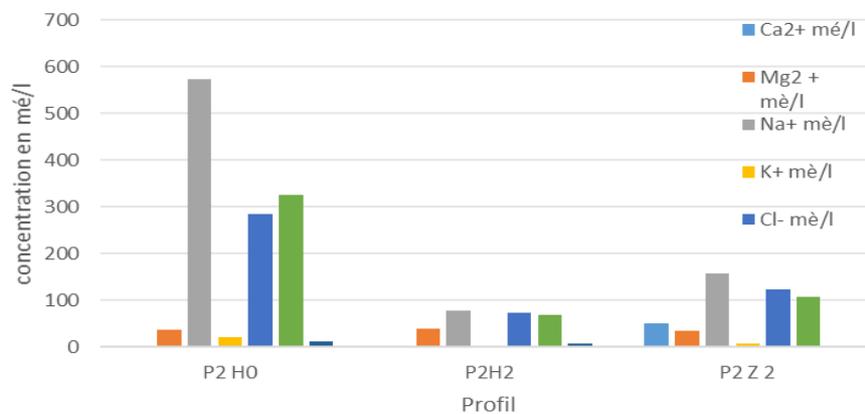


Figure 5 : Répartition des ions dans le profil 2

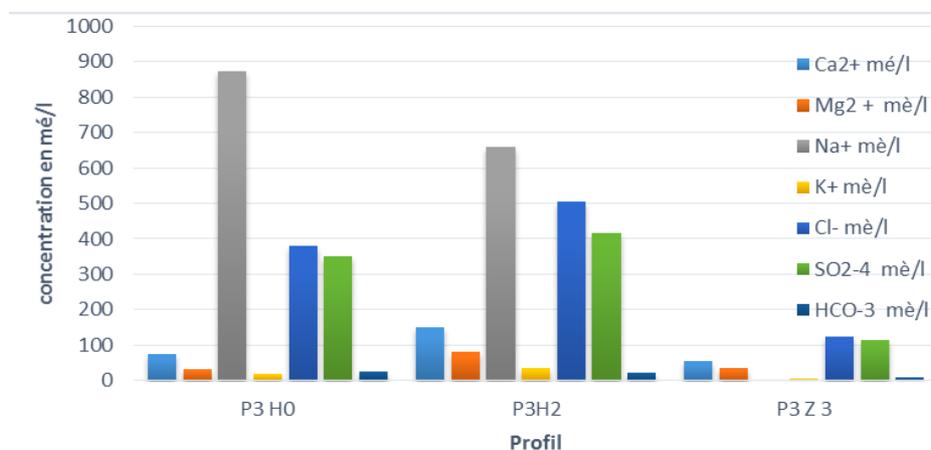


Figure 6 : Répartition des ions dans le profil 3

L'analyse des trois profils étudiés a montré remarquablement la dominance de l'ion Sodium parmi les cations et les ions chlorures, parmi les anions, selon l'ordre suivant : $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > K^+$ et $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ ce qui confère à la

solution du sol le faciès chloruré sodique (Figure 4, Figure 5, Figure 6).

Par ailleurs, dans le but d'identifier les précipitations salines majoritaires, l'approche géochimique, grâce au modèle thermodynamique, a mis en évidence pour les trois profils examinés une affinité accrue entre le traceur chlore et les ions les plus rependus dans la solution du sol SO_4^{2-} et Na^+ en considérant l'ion chlore comme traceur stable le mieux approprié aux évaporites (Figure.7). Il a été montré en outre qu'à partir de log facteur de concentration ($\log F_c \leq 0,2$), tous les carbonates sont sursaturés (Figure.8), d'où leur précipitation prioritaire surtout sur les horizons superficiels : P_1H_0 , P_2H_0 et P_3H_0 . Cette précipitation, carbonatée, est attestée par les valeurs de $\text{pH} > 8,5$. Il s'agit essentiellement de la calcite (CaCO_3), de la magnésite (MgCO_3) et de la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Concernant les solutions sulfatées, le gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et l'anhydrite CaSO_4 , elles évoluent simultanément avec le traceur chlore. Leurs précipitations sont constatées à partir de $F_c = 1,24$, soit pour des concentrations en ions chlorures supérieures à 280 mé/l et en sulfates dépassant 324 méq/l (Figure.7). Enfin, parmi les minéraux solubles, l'halite (NaCl) semble le minéral le plus proche de la saturation (Figure.8).

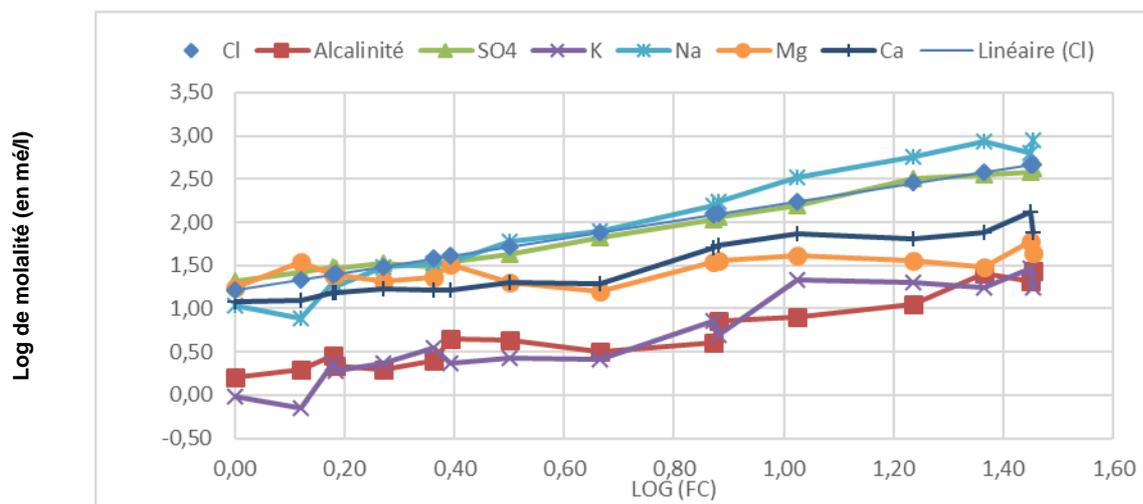


Figure 7 : Diagramme de concentration des solutions.

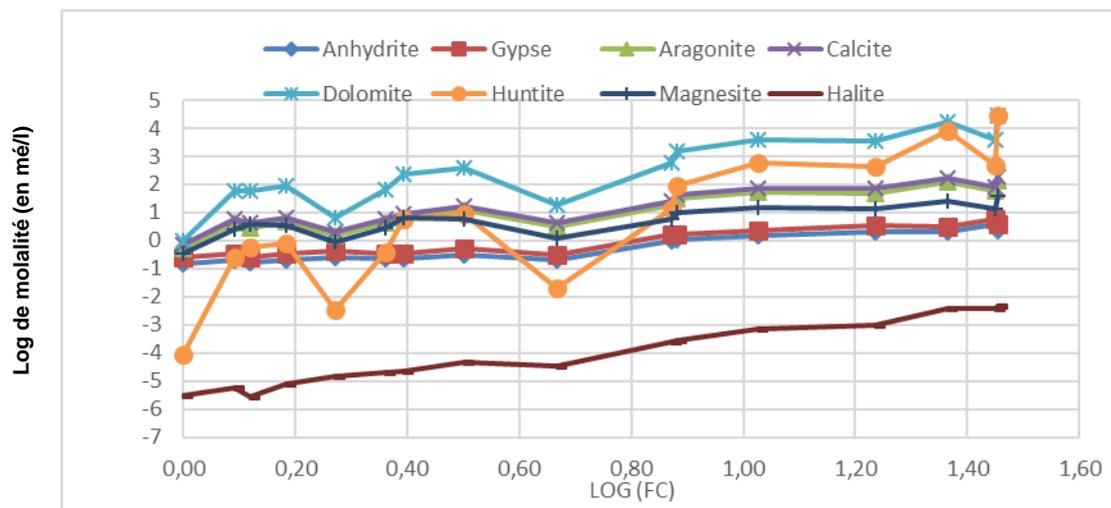


Figure 8 : Ordre de précipitation minéralogique dans les solutions

4. Conclusion

Ce travail s'est intéressé à l'ensemble constitué par le système sol-nappe, caractérisé par un climat aride estival très évaporant, une nappe superficielle proche de la surface du sol et une topographie plane d'où défavorable au drainage naturel des eaux.

Les principaux résultats des analyses chimiques des eaux et des sols nus sableux indiquent un fort taux de sodium parmi les cations et de chlorures parmi les anions. Le plus important est atteint au niveau des horizons de surface et médian.

L'étude se rapportant à la géochimie indique un ordre précis de précipitation des sels matérialisés dans les différents

horizons du profil du sol considéré ; elle indique une cristallisation prioritaire des carbonates suivie des sels du gypse, et en dernier lieu l'halite. Ceci est en accord avec une alcalinité résiduelle calcite négative, conférant ainsi, aux solutions des sols et des eaux de la nappe superficielle le faciès chloruré sodique, tout en montrant leurs voies saline neutre (le pH proche de la neutralité), en conduisant, par conséquence, à la sodisation des sols dans cette région.

Références

1. Baize D. 2000. *Guide des analyses en pédologie*. 2^{ème} édition INRA, Paris
2. Barbiero. L. 1994. Les sols alcalinisés sur socle dans la Vallée du fleuve Niger. Origines de l'alcalinisation et évolution des sols sous irrigation. *Thèse Doctorat, ENSA, Rennes, France*, 210p.(1994)
3. Bardeze E. 2008. *Manuel de chimie générale*. Ed.Dunod, Paris, 242p
4. Berkal I., Walter C., Michot D. et al. 2012. *Seasonal soil salinity monitoring in oasis ecosystems by EM conductivity*. Digital soil assessments and Beyond: Proceedings of the 5th global workshop on Digital Soil Mapping Sydney, Australia, CRC Press Taylor & Francis group : 347-351.
5. Castany G. 1982. Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie). Aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. *Bulletin du BRGM (2), III(2) : 127-147.*
6. De Martonne, E.1926. Aérisme et indice d'aridité. *C.R.Acad.Sci.*, Paris, (182) : 1395-1398.(1926)
7. Droubi A. Fritz B. et Tardy Y. 1976. Equilibres entre minéraux et solutions. Programmes de calculs appliqués à la prédiction de la salure des sols et des dos optimales d'irrigation. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série pédologie, VOL.XIV, n° 1, pp.13-38.*(1976)
8. Gueddari .M. 1984. Géochimie et thermodynamique des évaporites continentales. Etude du lac Natron en Tanzanie et du Chott el Jerid en Tunisie, *Revue Sci. Géol. Mém.*, 76, 143p (1984)
9. Idder A., Idder T., Nezli I.E. et al. 2014. Compartimentation et accumulation estivale des sels neutres dans les aridosols sableux nus de la cuvette d'Ouargla (Sahara algérien) *Lebanese Science Journal*, Vol. 15, No. 1, 2014, pp. 41-50.(2014)
10. Idder T. 2007. Le problème des excédents hydriques à Ouargla : Situation actuelle et perspectives d'amélioration. *Sécheresse*, 18 (3) : 161-167.(2007)
11. Idder T., Idder A., Cheloufi H. et al. 2013. La surexploitation des ressources hydriques au Sahara algérien et ses conséquences sur l'environnement. Un cas typique : l'oasis de Ouargla (Sahara septentrional). *Techniques Sciences Méthodes*, 5, 31-39.(2013)
12. Kouzmine Y. 2003. L'espace saharien algérien, dynamiques démographiques et migratoires. *Maîtrise de Géographie, Université de Franche-Comté. U.F.R Sciences du Langage, de l'Homme et de la Société, Institut de Géographie, Laboratoire THEMA*, 208 p.(2003)
13. Nesson. C. 1978. Evolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien" In Recherches sur l'Algérie. *Mémoires et documents du CNRS, Nouvelle Série, vol. 17 : 7-91.*(1978)
14. Nezli I.E., Achour S., Djabri 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). *Larhyss Journal* n°6 : 121-134.(2007)
15. Nezli I.E. 2009. Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la cuvette de Ouargla (Sud-Est algérien). *Séminaire international sur la protection des écosystèmes sahariens « IECO-SYS09 », Ouargla les 13, 14 et 15 décembre 2009,*
16. Parkhurst.D.L., Appelo C.A.J. 1999. User's guide to PHREEQC version 2: a computer program for speciation, batch-reaction, one dimensional transport and inverse geochemical calculations. *USGS, Waterresources investigations report*, 99-4259.(1999).
17. Ruellan A., Dosso M. 1993. *Regards sur le sol*. Ed. Foucher, Paris, 192 p.(1993)
18. Valles, V. 1987. Etude et modélisation des transferts d'eau et de sel dans un sol argileux. Application au calcul de doses d'irrigation, *Revue des Sci. Géol, Mém*, 79, 148 p.(1987)

Actes du colloque RQM8 de Nador, 2015

NB. Article accepté après avis du Professeur Djerrab Abderazek (Univ. Ouargla), membre du comité de lecture des actes de la RQM8. (RQM8 : Huitième Rencontre des Quaternaristes Marocains).

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>