

## **Étude hydrochimique, et géochimique (isotopes de l'environnement et rapport strontium) d'un aquifère régional carbonaté dans le bassin du Chott-El-Gharbi (Nâama, Ouest algérien)**

Cherchali, M.E.H.<sup>1</sup>; <sup>[\*\*]</sup> Liégeois, J.P.<sup>2</sup>; Mesbah, M.<sup>3</sup>; Daas, N<sup>1</sup>; Moulla, A.S.<sup>1</sup>; Ouarezki, S.A.<sup>1</sup>; Achachi, A.<sup>4</sup>

1. Centre de Recherche Nucléaire d'Alger, Dpt Datation et Traçage Isotopique, 2, Bd F. Fanon, BP399, Alger-Gare, 16000, Alger, Algérie; (\*\*) [m.cherchali@crna.dz](mailto:m.cherchali@crna.dz); [mehcherchali@gmail.com](mailto:mehcherchali@gmail.com)

2. Isotope Geology, Royal Museum for Central Africa, B-3080 Tervuren, Belgium; jean-paul.liegeois@africamuseum.be

3. Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire. USTHB-FSTGAT, Alger.

4. ANRH, Direction Régionale, Oran, Algérie.

### **Résumé :**

Le Chott El-Gharbi est une zone humide de première importance pour l'ensemble de la province de Nâama ainsi que pour tous les hauts plateaux occidentaux de l'Algérie. Située dans le prolongement sud-ouest du Chott Ech-Chergui, il est bordé au nord par les monts de Tlemcen, au sud par la faille Sud-Atlasique et à l'ouest par la frontière algéro-marocaine. Les formations sédimentaires, qui sont les plus susceptibles d'être des aquifères, sont les dolomies Bajo-Bathoniennes (Jurassique moyen), les grès continentaux Intercalaires (Albien) et les calcaires lacustres (Miocène) au nord, ces derniers étant les plus productifs. Pour cette raison, les données hydrogéochimiques et environnementales ont été étudiées afin d'évaluer le potentiel de ce bassin endoréique et déterminer s'il existe ou non des conditions de recharge et caractériser s'il y a lieu, le mélange possible entre les différents aquifères. Du point de vue des isotopes stables, les eaux souterraines sont affectées par des valeurs en <sup>18</sup>O et <sup>2</sup>H appauvries, respectivement de (-5.53 à -8.98) et (-48.01 à -69.37) vs VSMOW et pour lesquelles un processus évaporatoire est reconnu. Il est suggéré que ces eaux sont héritées d'un ancien pluvial dont les caractéristiques étaient différentes des pluviaux actuels reconnus au N (zone péri côtière) et au S (Assekrem) de l'Algérie. Les eaux souterraines sont anciennes et les activités en <sup>14</sup>C varient respectivement de 2pmC dans un forage profond du flanc nord du bassin à 58pmC dans un puits situé à l'est du bassin. En outre, les rapports en strontium <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr montrent une nette différence entre le Chott El-Gharbi dans son ensemble, avec des valeurs autour de 0,708, et les rapports en strontium du Chott Ech-Chergui (E) et du synclinal de Nâama (SE) qui sont d'environ 0,709. Le Sr radiogénique pourrait confirmer ainsi, le caractère particulier du Chott El Gharbi en tant qu'unité hydrogéologique isolée et différente du Chott Chergui (E) et du synclinal de Nâama (au sud).

**Mots clés :** *Chott El-Gharbi, Nâama (NO algérien), aquifère régional carbonaté, hydrogéochimie, géochimie isotopique, paléo eaux.*

### **1. Introduction.**

**A.** Dans la partie occidentale de l'Algérie, principalement touchée par l'irrégularité des précipitations, la rareté de l'eau est devenue un problème majeur de la société. Pour résoudre définitivement ce dilemme, les autorités ont été contraintes de se tourner vers d'autres ressources en eau. Ainsi, et malgré la mobilisation des

eaux de surface par le biais de 3 grands barrages (d'une capacité d'environ 130 à 150 Mm<sup>3</sup>) dans la région occidentale, il a été nécessaire de mobiliser également de l'eau de mer par dessalement et il est actuellement prévu un important transfert d'eau par pompage de la région des hauts plateaux occidentaux, à savoir le Chott El Gharbi, au sud des provinces de Tlemcen

et Sidi-Bel-Abbès, situées à 100 km au nord-ouest et au nord-ouest de la région à l'étude (Fig.1). Cette dernière est centrée sur l'isohyète 200 mm<sup>[9]</sup>, et reste marquée par la rigueur du climat, qui est chaud et sec en Été, et très froid en Hiver. Les formations sédimentaires, qui sont les plus susceptibles d'être des aquifères <sup>[1]</sup>, sont (i) les dolomies du Bajo-Bathonien (Jurassique moyen), (ii) les grès du Continental Intercalaire (Albien), (iii) le calcaire lacustre tertiaire, TLL (Tertiaire-Miocène) et (iv) le réservoir de remplissage tertiaire (TF). Comme pour le Chott Ech-Chergui (prolongement est du Chott El-Gharbi), le Bajo-Bathonien est considéré comme un réservoir principal en raison de son extension latérale, mais il est peu reconnu sur l'ensemble du bassin. On peut supposer que cette formation géologique, comme pour le Chott Ech-Chergui <sup>[2]</sup>, contient des eaux anciennes, raison pour laquelle l'utilisation d'isotopes stables et radioactifs est d'une importance primordiale pour une meilleure compréhension de l'hydrosystème. Les traceurs géochimiques (ions majeurs et traces) ainsi que les isotopes environnementaux (<sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H, <sup>13</sup>C et <sup>14</sup>C) et radiogéniques (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) ont été utilisés afin d'obtenir une idée réelle aussi bien sur le temps de résidence et la recharge sur les eaux souterraines qui n'avaient jamais été étudiées d'une manière aussi approfondie.

**Fig.1 :** Situation géographique et géologie du Chott El-Gharbi. (a) Carte de situation et hydrologique du Chott El-Gharbi et des points d'échantillonnage, (b) Carte en isohyète (selon Dubief, 1962), (c) Coupe stratigraphique du Chott El-Gharbi.

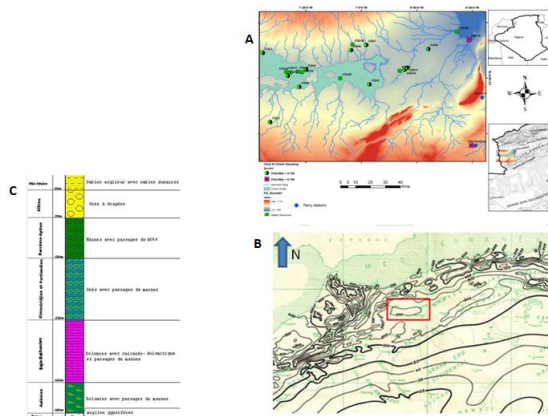
## 2. Géologie et hydrogéologie.

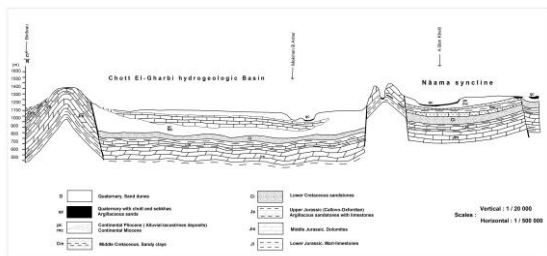
### 2.1. Géologie.

Le Chott El-Gharbi est situé (Fig.1b) entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud. D'un point de vue géologique il correspond à un vaste synclinal d'orientation générale W-E et la série stratigraphique rencontrée montre une succession de terrains d'âges secondaires et tertiaires. Les premiers correspondent aux formations de bordures alors que les seconds constituent les formations de remplissages du Chott en lui-même. La série stratigraphique type montre des terrains allant du Trias au Plio-Quaternaire (Fig.1d).

### 2.2. Hydrogéologie.

De l'étude géophysique <sup>[8],[14]</sup>, il ressort que trois formations sont susceptibles d'être aquifères. Ce sont les Calcaires Lacustres, les grès du Crétacé et les dolomies Bajo-Bathonienne du Jurassique moyen. Comme le montre la coupe à travers le Chott (Fig.2), le réservoir des calcaires lacustres est libre sur les bordures du Chott, alors que les deux autres formations, celles des grès du Crétacé et des dolomies du Jurassiques sont confinées. Les études géophysiques (méthodes électriques), menées aussi bien par la CGG (1973) que par l'ORGM (2006), ont montré que des cinq formations géologiques en présence, seules les trois premières citées, avaient potentiellement les mêmes caractéristiques électriques à savoir une conductivité électrique comprise entre  $200 < \rho < 1000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ .





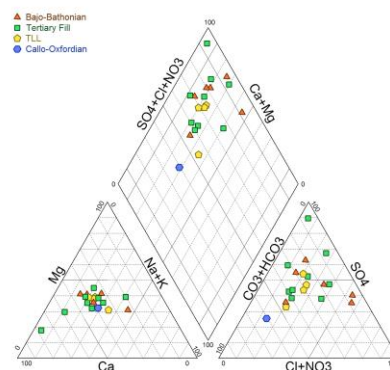
**Fig.2 :** Coupe géologique à travers le bassin du Chott El-Gharbi (d'après Azzaz, 1996)

### 3. Résultats hydrochimiques

Les paramètres physico-chimiques (pH, température, CE et TDS) mesurés sur le terrain montrent que les eaux sont proches de la neutralité. Le pH moyen est d'environ 7 avec une valeur faible de 6,63 mesurée dans l'horizon TLL (calcaires tertiaires lacustres) et la valeur supérieure de 7,68 dans un puits situé au centre du Chott dans l'horizon TF (remplissage tertiaire). Dans le même temps, la conductivité électrique (EC) et le total des solides dissous (TDS) évoluent différemment d'ouest en est. Les valeurs de conductivité les plus élevées sont enregistrées dans la partie ouest du Chott dans l'horizon Bajo-Bathonien capté par le forage CGh14 à 3470 $\mu$ S/cm et dans l'horizon du remplissage tertiaire capté par le forage CGh17 à 3510 $\mu$ S/cm aux environs de Kasdir. Dans la partie orientale du Chott, la CE et la TDS sont plus basses et proches et ne dépassent pas la valeur de potabilité recommandée.

Les eaux souterraines du Chott El-Gharbi, tous aquifères confondus, sont dominées pour certains points dans le domaine des anions par  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$ , alors que dans le domaine des cations, aucun cation n'est dominant sauf en deux points où  $\text{Ca}^{2+}$  est le cation dominant. D'une manière générale (Fig.3), on note un faciès *Chloruré et Sulfaté Calcique et Magnésien* qui concerne la majorité des forages captant la nappe du Bajo-Bathonien et la nappe des calcaires lacustres, un faciès

*Bicarbonaté Calcique et Magnésien*, que l'on retrouve en un point captant les grès du Callovo-Oxfordien, et un faciès *Chloruré Sodique* que l'on retrouve également en deux autres forages captant les mêmes formations.



**Fig.3 :** Distribution des eaux selon le diagramme de Piper

L'évolution des éléments majeurs en fonction de la salinité semble montrer que  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  évoluent de la même manière à mesure qu'augmente la salinité, de même que  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  évoluent aussi de la même manière. Les rapports molaires des espèces ioniques majeures nous permettent de voir que le rapport  $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  évoluent de la même manière, alors que pour  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  le rapport est voisin de 1.  $\text{Na}^+$  augmente de la même manière que  $\text{Cl}^-$ . Cette évolution nous permet de dire qu'il y a dissolution de l'Halite et du gypse comme source unique de sodium et du chlorure et des sulfates au cours du transit des eaux et ce quel que soit l'aquifère. On constate également que  $\text{Mg}^{2+}$  augmente en même temps que  $\text{Cl}^-$ , de même que  $\text{HCO}_3^-$  diminue au moment où la salinité augmente ce qui appuie la thèse d'une mise en solution d'une évaporite [5].

### 4. Étude isotopique.

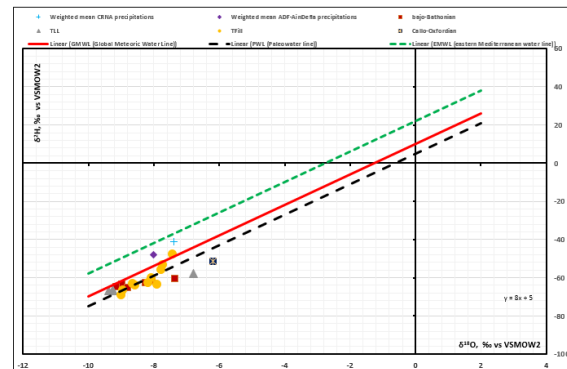
4.1. Les isotopes stables ( $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ ).

Les analyses en isotopes stables des eaux souterraines du chott El-Gharbi, montrent que ces dernières sont affectées par un caractère plus appauvri que celles des eaux du Chott ech Chergui [2]. Ainsi on a une variation de -6.26 à -8.95‰ et de -48.4 à -66.7‰ vs VSMOW respectivement pour le  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$ .

**Tableau 1** : Variations des teneurs en O18 et H2 des eaux souterraines du Chott El-Gharbi

Aquifère	Sta.	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
% vs V-SMOW			
Bajo-Batho	Min	-8.69	-64.3
	Max	-6.91	-57.1
Callo-Oxf	Min	-6.59	-48.4
	Max	/	/
Calc Lac Ter. (TLL)	Min	-8.95	-66.7
	Max	-6.26	-57.4
Rempl-Tert. (T.Fill)	Min	-8.84	-63.2
	Max	-7.31	-45.4

Sur un diagramme  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ , on constate que les points se distribuent tous sous la droite météorique mondiale, et sur la droite des paléo eaux [3],[4],[10],[12]. Comparées aux pluies du bassin occidental de la méditerranée [4][6] et des stations du Nord de l'Algérie (CRNA et ADF-Ain Defla) on constate que les eaux du Chott se distinguent nettement par des valeurs plus appauvries d'au moins -20‰ pour le Deutérium, marquant bien le caractère ancien de ces eaux. Ceci pourrait vouloir dire que les eaux des aquifères se seraient infiltrées à une époque plus humide et froide que l'actuel, que l'on pourrait affecter à une phase humide du Pléistocène supérieur [2],[10],[12],[13],[15]. Certains points du Remplissage Tertiaire semblent également affectés par des valeurs appauvries ce qui pourrait suggérer pour ces eaux un effet d'appauvrissement par ascendance verticale des eaux d'aquifères plus profonds.



**Fig.4** : Relation H<sup>2</sup>-O<sup>18</sup> pour les eaux du Chott El-Gharbi.

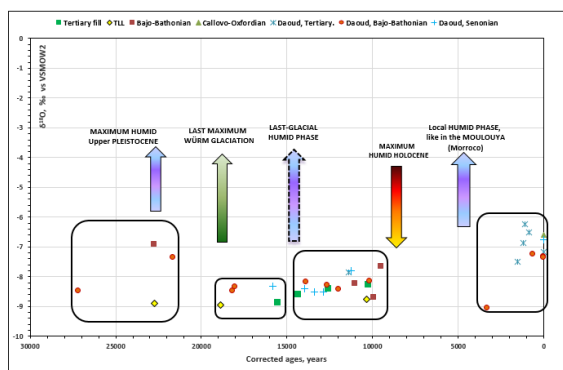
#### 4.2. Les isotopes radioactifs (<sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C) et le <sup>13</sup>C.

➤ Le tritium (<sup>3</sup>H) comme le carbone-14 (<sup>14</sup>C) ont été mesurés sur la presque totalité des échantillons. Les données en tritium s'échelonnent de 0 à 4.79 U.T. La plupart des points étant caractérisés par une teneur en <sup>3</sup>H égal au bruit de fond à l'exception de deux points qui correspondent à deux puits de faible profondeur, et dont on peut considérer qu'ils sont marqués par une composante récente des pluies météoriques de la région. Quant aux autres points, tout au plus pourrions-nous dire qu'ils dépassent la limite de la méthode et qu'ils sont plus anciens.

➤ Le Carbone-14 et le  $\delta^{13}\text{C}$  ont été mesuré sur le carbone minéral total dissous (CMTD) pour 17 échantillons sur un total de 22. La gamme des activités <sup>14</sup>C mesurées varie, tout aquifère confondu, de 2% à 58% de carbone moderne. Les plus faibles activités sont mesurées en deux points qui ne captent pas le même aquifère, le premier sur le flanc nord au forage Abdelmoulla (CGh7, 2% c.m), le second au forage Errachidia (CGh4, 2.8% c.m.). L'activité la plus élevée a été mesurée au point CGh22 (58% c.m) qui correspond à un puits à la limite extrême orientale du Chott El-Gharbi et d'autre part au forage CGh13 (39.9% c.m.) qui en fait se trouve

dans un autre contexte géologique et hydrogéologique puisque faisant partie du synclinal de Nâama. Dans le même temps les teneurs en  $\delta^{13}\text{C}$  associées aux activités  $^{14}\text{C}$  montrent également une variation allant de -9.76 ‰ vs PDB (forage Bajo-Bathonien) à -5.94‰ vs PDB (forage Remplissage tertiaire). On constate que ce sont les points se situant plus ou moins dans l'axe du bassin qui sont affectés par des activités  $^{14}\text{C}$  les plus faibles et donc des « âges » calculés les plus élevés. Une exception cependant, le forage CGh7 situé sur le flanc nord. Il est marqué par une activité  $^{14}\text{C}$  la plus faible avec également un  $\delta^{13}\text{C}$  élevé qui pourrait ainsi exprimer à la fois un temps de résidence long et un échange poussé avec la matrice.

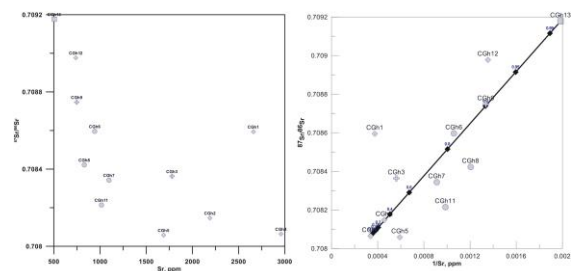
D'une manière générale, et si on superposait les âges calculés obtenus dans le Chott El-Gharbi avec ceux du Chott ech Chergui [2] (Fig.5) on constate une identité d'histoire, à la différence près où pour le Remplissage Tertiaire, les eaux du Gharbi semblent plus anciennes et homogènes que celles du Chergui et où l'on pourrait retenir deux phases majeures probables d'alimentation, (i) une au dernier maximum de l'Humide du Pléistocène supérieur, l'autre (ii) à la phase Humide du Tardi-glaciaire. Une autre phase (locale) apparaît et elle serait identique à celle reconnue dans la Moulouya (Maroc)[2] et aurait donné les eaux les plus récentes.



**Fig.5 :** Relation O18-Ages corrigés.

#### 4.3. Le rapport strontium $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

Il a été mesuré sur 13 échantillons, au laboratoire du Musée Royal pour l'Afrique Centrale (Belgique). Pour le Chott El-Gharbi, le contraste géochimique n'est pas très marqué du fait que les aquifères en présence sont de nature carbonatée. Ainsi, la variation du rapport mesuré (Fig.6) est de 0.708058 au pôle moins radiogénique, CGh5 (Kasdir) à 0.709177 au plus radiogénique CGh13 (Nâama). On constate également que ces valeurs ne s'éloignent pas trop de celle du carbonate marin récent pour lequel la valeur du rapport strontium est de 0.709.



**Fig.6 :**  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Sr et  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -1/Sr.

Une première observation des rapports strontium nous permet de constater que deux points, CGh12 et CGh13, se démarquent des autres. Ce sont respectivement les points (i) de l'extrémité occidentale du Chott ech-Chergui limitrophe du Chott El-Gharbi (CGh12) et (ii) celui du synclinal de Nâama (CGh13) au SE. Les différents modèles de mélange, entre un pôle plus radiogénique (CGh13 ou CGh12) d'une part et le moins radiogénique (CGh5 ou CGh4) d'autre part, nous permettent de confirmer l'existence possible d'un pôle diapirique entre Oglat Maghborra (CGh1) et la localité de Kasdir (CGh3, 4, 5). De même que ces mélanges nous permettent de penser que le pôle le plus radiogénique est fort probablement à mi-chemin entre CGh12 et

CGh9 qui regroupent le maximum de points. Le pôle le moins radiogénique étant indifférencié entre CGh5 et CGh4. Aussi bien le rapport strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  que la concentration élémentaire [Sr] ainsi que l'étude du rapport Sr/Ca >> 1‰ sont tous des indicateurs de l'origine évaporitique du strontium et d'une influence triasique sur les eaux souterraines de la région en question, imprimant par la même des concentrations élevées en sulfates, et des indices élevés de saturation en Célestite pour les points considérés. Au vu des rapports strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  mesurés, ainsi que de toutes les observations isotopiques qui ont précédées, on peut exclure le CGh13 de toute influence sur l'hydrosystème du Chott El-Gharbi. De même que si on peut penser que la distinction entre le CGh12 (extrémité orientale du Chott) et les autres points du Chott El-Gharbi soit nette, un doute subsiste.

## 5. Conclusion

L'étude des eaux souterraines du Chott El-Gharbi a permis de faire la lumière sur un certain nombre de points que les méthodes classiques d'investigations n'auraient pas permis. L'utilisation combinée de l'hydrogéochimie, ainsi que de la géochimie isotopique par le biais de l'utilisation des isotopes de l'environnement, du  $^3\text{H}$ , et ceux de la forme dissoute ( $^{13}\text{C}$  et  $^{14}\text{C}$ ) ainsi que le rapport du strontium radiogénique ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), a permis de montrer que l'hydro-système du bassin endoréique du Chott El-Gharbi était le réceptacle d'aquifères fossiles, dont la chimie des eaux est essentiellement marquée par la dissolution de sels d'origine évaporitique (gypse et halite). Les isotopes stables sont marqués également par des valeurs très appauvries attestant d'une histoire

ancienne et d'un héritage des eaux d'un pluvial ancien différent de l'actuel. Le  $^{13}\text{C}$  et  $^{14}\text{C}$  ont permis de confirmer le caractère ancien des eaux du Chott El-Gharbi, pour lesquelles on constate également une identité d'histoire avec le Chott Chergui. L'étude du rapport strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ainsi que le rapport Sr/Ca a permis par la même de bien individualiser le Chott El-Gharbi et confirmer l'origine évaporitique du strontium élémentaire [Sr], liée à la dissolution de Célestite ( $\text{SrSO}_4$ ), minéral associé au gypse.

## Références :

- [1] ANRH, 1996 : Étude hydrogéologique du Chott el Gharbi, AZZAZ, H.
- [2] Daoud, D (1995) : Caractérisation géochimique et isotopique des eaux souterraines et estimation du taux d'évaporation, dans le bassin du Chott Chergui (zone semi-aride), Algérie. *Thèse de Docteur en Sciences, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay.*
- [3] A.I.E.A: Environmental Isotopes in the Hydrological cycle, Principles and applications. Vol I, II, III, IV, V et VI.
- [4] A.I.E.A. (2005): TecDoc 1453. Isotopic composition of precipitation in the Mediterranean Basin in relation to air circulation patterns and climate.
- [5] Appelo, C.A.J.; Postma, D. (1994): Geochemistry, groundwater and pollution. A.A.Balkema/ Rotterdam/ Brookfield.
- [6] Celle, H. et al (2001): Isotopic typology of the precipitation in the Western Mediterranean region at three different time scales. *Geophysical Research Letters*, vol. 28, no. 7, pages 1215-1218, april 1,2001
- [7] Clark, I.; Fritz, P. (1997): Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis Publishers. New York.

[8] **C.G.G. (1973)** : Etude géophysique des inféro-flux du flanc sud des monts des Ksour. Zone de Oglat Moussa.

[9] **Dubief, J.** (1963) : Essai sur l'hydrogéologie au Sahara.

[10] **Fontes, J.Ch.** (1976) : Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles. Quelques aspects. Thèse de Doctorat ès-Sciences. Université de Paris VI. Paris.

[11] **Gibert et al (1990)** : Retour des conditions humides au Tardiglaciaire au Sahara Septentrional (sebkha Mellala, Algérie). *Bull.Soc.Géol.France*, 1990, (8),t.VI, n°3, pp.497-504.

[12] **Guendouz, A.** (1985) : Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est Septentrional, Algérie. *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay.*

[13] **Kendall, C.; McDonnell, J.J.** (1998): Isotopes tracers in catchment hydrology. Elsevier.

[14] **ORGM (2006)** : Prospection hydrogéologique par sondages électriques verticaux et magnétométrie à travers la région de Mekmene el Hanneche Chott el Gharbi.

[15] **Vernet, R.** (1994) : Les Paléo environnements du Nord de l'Afrique depuis 600.000ans. *Extrait de dossiers et recherches sur l'Afrique*, n°3. U.P.R. 311-C.N.R.S., 1 Place A. BRIAND, 92195-Meudon-Cédex.