

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE



Mémoire

PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER

Spécialité : Géoscience et environnement.

Option : Géochimie de surface

Présenté par :

Mr GUERRADI Hocine.

THEME

***Etude géochimique et minéralogique
du lac d' El-Menia.***

Soutenu publiquement le:/...../2012.

Devant le jury d'examen :

AISSANI Belkacem

MCA Univ d'Ouargla

Président

HACINI Messaoud

MCA Univ d'Ouargla

Encadreur

NEZLI Imade Eddine

MCA Univ d'Ouargla

Examineur

Année Universitaire : 2011/2012

Résumé

Etude géochimique et minéralogique du lac de El-Menia

L'étude des écosystèmes lacustre a fait l'objet de plusieurs travaux de recherches. Le concept Eugster (1970); Eugster et Hardie (1978), Un grand nombre de travaux de recherches sont disponibles sur l'interaction eau / roche et les facteurs contrôlant ces interactions. Eugster et Smith (1965); Hardie (1968); Eugster et Jones (1979); Bois et Sanford (1990). Egalement, un récent travail de recherche de Yan et al. (2002) a mis en évidence que les modèles existants sont influencés par les conditions locales, les variations lithologiques, les modèles de l'hydratation et les paramètres physico-chimiques des sources d'alimentation.

Les sebkhas, et les chotts sont des écosystèmes naturels, présentant des intérêts écologiques et économiques certains. Ces écosystèmes sont utilisés par les géochimistes pour la reconstitution des histoires géochimiques naturelles, considérées comme des laboratoires à ciel ouvert. La richesse économique est très importante sur le plan minier, mais surtout sur le plan économique élevé. Il faut noter aussi la fragilité de ces écosystèmes, les risques de menace et de contamination par les eaux excédentaires, ainsi que les déchets.

Le présent projet de magister a pour objectif de mettre en évidence, la minéralogie et la géochimie du lac de El-Menia, et le suivi du cycle géochimique dans ce lac.

Caractéristique géochimique et minéralogique du lac et étude du cycle géochimique.

Mots clés : Sebkhas et chotts, minéralogie des évaporites

SUMMARY

Geochemical and mineralogical study of Lake El-Menia

The study of lake ecosystems has been the subject of several research works. The concept of Eugster (1970), Eugster and Hardie (1978). Many research works are available on the interaction water / rock and the factors controlling these interactions. Eugster and Smith (1965), Hardie (1968), Eugster and Jones (1979), Wood and Sanford (1990). Also, a recent research work of Yan et al. (2002) showed that existing models are influenced by local conditions, lithological variations, the patterns of hydration and physical-chemical power source.

The salt flats, and saline lakes are of natural ecosystems with ecological and economic interests of some. These ecosystems are used by geochemists for the recovery of natural geochemical histories, considered as open laboratories. Economic wealth is very important to the mining plan, but especially on the economic level. Note also the fragility of these ecosystems, threats and risks of contamination by water surplus and waste. This draft magister aims to highlight the mineralogy and geochemistry of lake El-Menia, and monitoring of the geochemical cycle in this lake.

Characteristic geochemical and mineralogical study of the lake and geochemical cycling

Key words : Sebkhas and chotts, mineralogy of evaporites

ملخص

الدراسة الجيوكيميائية والمعدنية لبحيرة المنيعية

دراسة النظم البيئية البحيرة تمت بإقامة أبحاث عديدة. مفهوم Eugster (1970) و Eugster و Hardi (1978). العديد من الأبحاث متوفرة حول التفاعلات بين الماء والصخور وكذلك العوامل المتحركة في هذه التفاعلات. Eugster و Smith (1965), Hardi (1968), Eugster و Jones (1979), Bois و Sanford (1990).

أيضا، مؤخرا بحث جديد لـ Yan و آخرون . (2002)، أثبت أن النماذج القائمة تتأثر بالظروف المحلية، التغيرات الصخرية، أنماط المائية و المميزات الفيزيائية والكيميائية للمصادر المائية.

البحيرات المالحة والشطوط عبارة عن نظم بيئية طبيعية، توفر فوائد بيئية واقتصادية حقيقية. هذه النظم تستخدم من طرف الجيوكيميائيين من أجل تتبع تاريخها الجيوكيميائي الطبيعي، اعتبرت مثل مخبر في الهواء الطلق. الثروة الاقتصادية مهمة جدا من الناحية المعدنية، يجب تسجيل هشاشة هذه النظم البيئية، مخاطر التهديدات و تلوث مياه الفائضة، وكذلك النفايات.

مشروع الماجستير يهدف إلى تسليط الضوء على معادن و جيوكيميائية بحيرة المنيعية، و متابعة الدورة الجيوكيميائية في هذه البحيرة.

الخصائص الجيوكيميائية والمعدنية للبحيرة ودراسة الدورة الجيوكيميائية.

الكلمات الرئيسية: السبخة، الشط، المعادن البحرية

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Je remercie chaleureusement le directeur de cette thèse, **Mr HACINI Messaoud** pour son soutien et l'orientation avec toutes les moyennes nécessaires de la réalisation de ce travail.

Je suis aussi particulièrement reconnaissant à, pour être président de membre de jury.

Je suis aussi particulièrement reconnaissant à les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire, **Mr Aissani Belkacem Mr Nezeli Imad Eddine et Mr Djidel Mohamed.**

Je tiens à remercier ;

- Personnel de laboratoire d'analyses de l'ITAS ; Université de OUARGLA
- Personnel de l'A.D.E de GHARDAIA
- Personnel de laboratoire des travaux publics du sud OUARGLA
- Personnel de l'A.N.R.H de GHARDAIA
- Personnel de Direction des Forêts de GHARDAIA
- Personnel de laboratoire de Physique de l'université LAGHOUAT

Je tiens à remercier M^{lle} Mekadem, enseignante à l'université Ouargla, pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail, et ses remarques pertinentes.

Je tiens à remercier Mr Zegaib Bouamama, pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail, et ses remarques pertinentes.

Je tiens à remercier Mr Bankih K, pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail, et ses remarques pertinentes.

Je remercie à la même occasion tout les étudiants de la faculté des sciences naturelles, sciences de vie, et sciences de la terre et l'univers, de l'université de Ouargla

Je témoigne aussi toute ma gratitude à ceux qui m'ont apporté leur aide, pour leur Sympathie, ces remerciements s'adressent à toutes les personnes qui m'ont aidé au terrain, spécialement Mustapha, Harouz, Ibrahim, Bagdad et Abd-esslam.

Enfin reconnaissant envers à ma famille qui m'ont soutenu tout au cours de ces années d'études.

SOMMAIRE

Résumé Arabe	
Résumé Anglais	
Résumé Français	
Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Introduction générale	01
CHAPITRE .I. Généralités	
1. Situation géographique de la zone d'étude	03
2. Hydro-climatologie	05
2.1 La précipitation	05
2.2 L'humidité relative de l'air	06
2.3 Le vent	07
2.4 La durée d'insolation	07
2.5 La température	08
2.6 Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN	09
2.7 Indice de l'aridité de De Martonne	10
2.8 Méthode d'EUVERTE	10
2.9 Climat-gramme d'EMBERGER	11
2.10 L'évaporation	12
2.11 Evapotranspiration du lac d'El-Menia	13
3 Géologie régionale	13
4. La tectonique	17
5. Paléogéographique	18
6. Hydrogéologie	18
6.1 La nappe phréatique	18
6.2 La Nappe du Continental Intercalaire	19
CHAPITRE .II. Synthèse bibliographique	
1. Intérêt des études géochimique d'un lac	20
2. Condition de formation des lacs salés	20
3. Type des lacs	20
4. Variabilités des sources d'alimentation des lacs salés	21
5. L'importance des eaux souterraine	22
6. Les séquences des minéraux évaporitiques	22
7. Classification des chotts en Algérie	23
8. Les études des eaux de mer	23
9. Les saumures naturelles	25
10. Les grandes surfaces d'eaux continentales au monde	26
10.1 La mer morte	26
10.2 Sebkha d'Abou Dhabi	27
10.3 Bocana de virilla	28
10.4 Le chott El Jerid	28
10.5 Chott Merouane	28
CHAPITRE.III.Méthodes de travail et moyens analytiques utilisés	
1 Documentation des études antérieures de la région	30
2 Utilisation cartographique	30
3 Visite sur terrain	30

4	Choix les points des prélèvements	30
5	Méthode des prélèvements des échantillons	31
6.	Les analyses in situ	32
6.1	Température	32
6.2	pH	33
7	Analyse des eaux	33
7.1	Sulfate	33
7.2	Les Chlorures.....	34
7.3	Bicarbonate	34
7.4	Calcium	35
7.5	Magnésium, sodium et potassium	35
7.6	La demande biochimique en oxygène	36
8	Analyse des sols	36
8.1	Calcaire	36
8.2	Gypse	36
8.3	Chlorure	36
8.4	Insoluble	37
9.	Granulométrie	37
10.	Minéralogie par DRX	37
CHAPITRE.IV. Résultats et discussion		
1	Géologie locale.	39
1.1	Albien	39
1.2	Cénomanién	39
1.3	Cénomanién supérieur	40
1.4	Turonien	41
2	Géologie du fond du lac	42
2.1	Caractéristique morphologique et granulométrique des sols du lac d'EL-Menia	42
2.2	Caractères physico chimiques des sols	46
2.2.1	pH de sol	46
2.2.2	Les insolubles	46
2.2.3	Les chlorures	47
2.2.4	Calcaire total	48
2.2.5	Le gypse	48
3	Evaluation du volume du lac	49
4	Géochimie des eaux du lac	50
4.1	Paramètres physiques	50
4.1.1	La température	50
4.1.2	Le pH	51
4.1.3	La salinité	51
4.2	Comportements des éléments majeurs	52
4.2.1	Bicarbonates (HCO_3)	52
4.2.2	Sodium (Na^+)	53
4.2.3	Chlorure (Cl^-)	54
4.2.4	Magnésium (Mg^{2+})	55
4.2.5	Sulfates (SO_4^{2-})	56
4.2.6	Calcium (Ca^{2+})	57
4.2.7	Potassium (K^+)	58
5.	Caractères des eaux de lac	59
5.1	L'échange ionique	59

5.2	L'origine de Calcium de lac d'El-Menia	59
5.3	Faciès chimique	60
5.4	Diagramme d'Eugster et Hardie	62
6	Facteur de concentration Fc.	63
7	Demande biochimique en oxygène DBO5	64
8	Indice de biodégradabilité	65
9	Simulation des saumures du lac	66
9.1	Indice de saturation	66
9.2	L'indice de saturation de gypse	66
9.3	Indice de saturation de Calcite	67
9.4	L'indice de saturation d'Halite	67
9.5	Indice de saturation de dolomite	68
9.6	Indice de saturation d'Anhydrite	69
9.7	Indice de saturation d'Aragonite	70
10	Etude minéralogique DRX	70
11	Conclusion	73
	Conclusion générale	74
	Référence Bibliographique	76

Annexe

Liste des figures

Figure.01.	Situation géographique de la zone d'étude (C.D.A.R.S. 1999).....	03
Figure.02.	Situation du lac d'El-Menia.....	04
Figure.03.	Histogramme du moyen de précipitation de région d'El-Menia 2000-2010.....	06
Figure.04.	Histogramme d'humidité de région d'El-Menia 2000-2010.....	06
Figure.05.	Vitesse moyenne de vent d'El-Menia.....	07
Figure.06.	l'insolation moyenne d'El-Menia 2000-2010.....	08
Figure.07.	Température moyenne mensuelle période d'observation 2000-2010.....	09
Figure.08.	Diagramme de Gaussen et Bernoule.....	09
Figure.09.	Clima-gramme de la région d'El-Menia.....	12
Figure.10.	Evaporation moyenne d'El-Menia 2000-2010.....	13
Figure.11.	Carte géologique du bassin mésozoïque du Sahara Algéro-Tunisien, région El-Goléa, (BUSSON 1967).....	15
Figure.12.	Log lithologique à partir d'un forage d'eau au sud d'El-Menia.....	17
Figure.13.	Coupe hydrogéologique à travers le bassin de Reggan à la Tunisie (PNUD-UNESCO, 1972).....	19
Figure.14.	Les différentes classes des lacs fermés d'après Yan et al, 2001.....	21
Figure.15.	Carte des points de prélèvement des échantillons.....	30
Figure.16.	Coupe schématique du Cénomanién au Sud-Est de lac d'El-Menia.....	38
Figure.17.	Coupe schématique du Cénomanién supérieur au Sud-Est d'El-Menia.....	38
Figure.18.	Coupe schématique du Turonien au Nord d'El-Menia (Ghor Ouargla).....	39
Figure.19.	Histogramme des diamètres des horizons de la coupe OG.....	40
Figure.20.	Histogramme des diamètres des horizons de la coupe CG.....	41
Figure.21.	Histogramme des diamètres des horizons de la coupe BG.....	42
Figure.22.	Histogramme des diamètres des horizons de la coupe AG.....	43
Figure.23.	Coupes des sols à travers le lac d'EL-Menia.....	43
Figure.24.	Profile de pH de sol du lac d'EL-Menia.....	44
Figure.25.	Profile des insolubles dans le sol du lac d'El-Menia.....	44
Figure.26.	Profile de chlorure dans le sol du lac d'EL-Menia.....	45
Figure.27.	Profile de calcaire total de sol du lac d'EL-Menia.....	46
Figure.28.	Profile de gypse de sol du lac d'EL-Menia.....	47
Figure.29.	Evolution de température des eaux du lac d'El-Menia.....	48
Figure.30.	Evolution de pH des eaux du lac d'El-Menia.....	49
Figure.31.	Evolution de salinité du lac de janvier au Juin 2011.....	50
Figure.32.	Variation de bicarbonate du lac de Janvier au Juin 2011.....	51
Figure.33.	Evolution de sodium au lac du Janvier au Juin 2011.....	51
Figure.34.	Evolution de chlore du lac de Janvier au Juin 2011.....	52
Figure.35.	Evolution des chlorures dans le lac d'EL-Ménia (Janvier à Juin 2011).....	53
Figure.36.	Corrélation entre la concentration de sodium et chlore.....	53
Figure.37.	Evolution de magnésium au lac du Janvier au Juin 2011.....	54
Figure.38.	Corrélation entre la concentration de calcium et magnésium.....	54
Figure.39.	Evolution de sulfate aux cours de période d'observation Janvier-Juin 2011.....	55
Figure.40.	Evolution de concentration de calcium du lac d'El-Menia au période d'observation Janvier au Juin 2011.....	56
Figure.41.	Variation de concentration de Potassium du lac du Janvier au Juin 2011...	56
Figure.42.	Diagramme de l'origine de Calcium du lac d'El-Menia.....	57
Figure.43.	Faciès géochimique de lac par les rapports $Mg^{+2}/Na^{+} : SO_4^{-2}/Cl^{-}$ (Janvier à Juin 2011).....	58

Figure.44.	Diagramme de Piper des eaux du lac d'El-Menia.....	58
Figure.45.	Diagramme des anions des eaux du lac d'El-Menia.....	59
Figure.46.	Diagramme des cations du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011).....	60
Figure.47.	Evolution des concentrations selon la concentration des HCO_3 , Mg et Ca (Hardie et Eugster. 1968).....	60
Figure.48.	Evolution de la molalité des éléments majeurs en fonction du facteur de concentration de lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011).....	61
Figure.49.	Evolution de l'indice de saturation des minéraux en fonction de facteur de concentration (Janvier à Juin 2011).....	62
Figure.50.	Evolution de DBO5 de lac d'EL-Menia (Avril et Mai 2011).....	63
Figure.51	Indice de saturation de Gypse des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011).....	65
Figure.52	Indice de saturation de Calcite des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011).....	65
Figure.53	Indice de saturation de Halite des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011).....	66
Figure.54	Indice de saturation de Dolomite des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011).....	67
Figure.55	Indice de saturation d'Anhydrite des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011).....	67
Figure.56	Indice de saturation d'Aragonite des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011).....	68
Figure.57	Spectre de Halite et Quartz dans le sol du lac d'El-Menia.....	69
Figure.58	Spectre de Quartz et Halite dans le sol du lac d'El-Menia.....	62
Figure.59	Spectre de Halite dans le sol du lac d'El-Menia.....	70
Figure.60	Spectre de dolomite et Quartz dans le sol du lac d'El-Menia.....	70

Liste des tableaux

Tableau.01.	Moyenne de pluie de la région d'El-menia 2000-2010	05
Tableau.02.	Humidité moyenne de région d'El-Menia 2000-2010	06
Tableau.03.	Vitesse de vent moyenne de région d'El-Menia 2000-2010	07
Tableau.04.	Insolation Moyenne de la région d'El-Menia 2000-2010	08
Tableau.05.	Température moyenne de région d'El-Menia 2000-2010	08
Tableau.06.	Classification des climats en fonction de l'indice de DEMARTONE	10
Tableau.07.	Le rapport entre précipitation et température dans la région d'El-Menia	11
Tableau.08.	Evaporation Moyenne de la région d'El-Menia 2000-2010	12
Tableau.09.	Bilan des évapotranspirations de région d'El-Menia	13
Tableau.10.	les séquences des précipitations des minéraux des différent type d'eaux d'après GUEDDARI, 1980 et HACINI, 2006	22
Tableau.11	Classification des chotts en Algérie (RAMSAR, 2003)	23
Tableau.12	Estimation de volumes de lac d'El-Menia	41
Tableau.13.	Composition chimique (en moles/ KgH ₂ O) de l'eau de mer à différentes étapes d'évaporation, suivant divers modèles. (HACINI, 2006)	

INTRODUCTION

Un lac est une étendue d'eau douce ou salée entourée de terre, son origine est différent, soit tectonique, volcanique, karstique ou glacier. Dans les zones semi aride et aride, ces lacs on les appelle les sebkhas et chotts, caractérisé par une salinité très importante due à l'évaporation intense causée par la température élevée.

La géochimie de cet écosystème continental (lac) est l'étude des répartitions des éléments, et les lois du comportement chimique de ces éléments, et en particulier la mise en place des minéraux évaporitiques. De nombreuses études géochimiques des lacs dans le monde ont été réalisées :

- Hardie et autres (1978) dans traitement des dépôts lacustres salins, il prend comme un lac salin une concentration minimum de 5000 ppm

- Geddes et autres (1981) détermine une valeur de concentration d'ordre 3000 ppm entre eau douce et faune saline

- Gueddari (1980) dans géochimie des sels et des saumures du chott el JERID (sud tunisien). Il traite les séquences de précipitations des minéraux et faire une comparaison entre les eaux des chotts et celui de la mer. Les minéraux qui précipitent au Chott Jerid selon Gueddari sont le calcite, gypse, et halite

- Hacini (2006) géochimie des sels et des saumures du chott Merrouane et calcule des vitesses de précipitation de quelque minéraux évaporitique. Ainsi l'évolution des éléments majeurs et en trace. La salinité est très importante, les chlorures présentent la majorité de valeur 152722 ppm à la fin de cycle géochimique

Les sebkhas et les chotts selon RAM SAR sont des zones humides, se trouvent aux régions arides, caractérisés par une température élevée contrôlant le développement et l'évolution de cette dépression ferme isolé, riche en sel.

L'Algérie se trouve dans un endroit au monde contrôlé par le climat tempéré au nord et sec aride au sud, l'avancement de Sahara vers le nord menace les zones humides qui s'installent dans la vaste étendue du sud Algérien. Cette menace de désertification implique la mise en place de plusieurs projets pour faire ralentir cet avancement.

L'identification et la connaissance des différents milieux sahariens, peuvent résoudre ce problème et lui arrêter. Les zones humides et les lacs sont installés depuis longtemps, et permettent d'avoir des milieux riches en vie dans le Sahara, malheureusement les études ne sont pas assez nombreuses.

L'étude d'un lac ou sebkha est très importante, plusieurs chercheurs dans le monde s'intéressent aux études concernant ces écosystèmes qui présentent plusieurs intérêts, pour l'exploitation des sels NaCl, K, Trona, Nakholite, dans le monde 80% du lithium est exploité à partir des saumures.

Les sebkhas sont des milieux des sels, où l'évolution géochimique est très importante. Le suivi de ce cycle géochimique s'avère indispensable pour reconstituer l'histoire géochimique des chotts, cette évolution contribue à l'orientation des méthodes d'exploitation à l'aide de la simulation par des logiciels de simulation (phreeqc).

Ce mémoire rentre dans le cadre de l'étude de l'évolution de cet écosystème

Les objectifs de ce mémoire sont principalement:

- une identification des différents processus de mise en place des minéraux évaporitiques.
- une suivie du cycle géochimique des eaux du lac, l'importance des éléments et leur répartition spatio-temporelle durant la période d'observation.

Pour répondre à cette étendue plusieurs parties ont été traitées, la situation géographique, les différents paramètres climatiques et géologiques et hydrogéologiques. Ensuite faire une synthèse bibliographique sur les systèmes évaporitiques continental dans le monde pour faire comparaison entre le lac étudié et d'autres lacs, après déterminer la méthodologie et les moyens utilisés pour réaliser ce travail, et enfin donner les résultats des analyses et discussions de ces derniers pour mettre une conclusion générale.

Chapitre I : Contexte général de la zone d'étude

1. Situation géographique de la zone d'étude

La région d'El-Menia se trouve au centre du Sahara Algérien, située entre les deux Sahara, septentrional et méridional. El Goléa (ancienne appellation d'El-Menia) est située à 870 km de la mer méditerranée, elle appartient au bassin versant saharien, elle se trouve à 270 Km chef lieu de la wilaya de Ghardaïa et 360 Km de Ain Saleh.

El-Menia est une daïra de wilaya de Ghardaïa, elle est limitée au nord par la commune de Hassi lefhel, a l'Est on trouve wilaya de Ouargla, au Sud on a wilaya de Tamanrasset et à l'Ouest le wilaya d'Adrar.

Les coordonnées géographiques :

* El-Menia

- Latitude 30°35' au Nord

- Longitude 2°53' à l'Est

- Altitude 396 m

* le lac

- latitude 30°25' au Nord

- longitude 2°75' à l'Est

Altitude 364 m

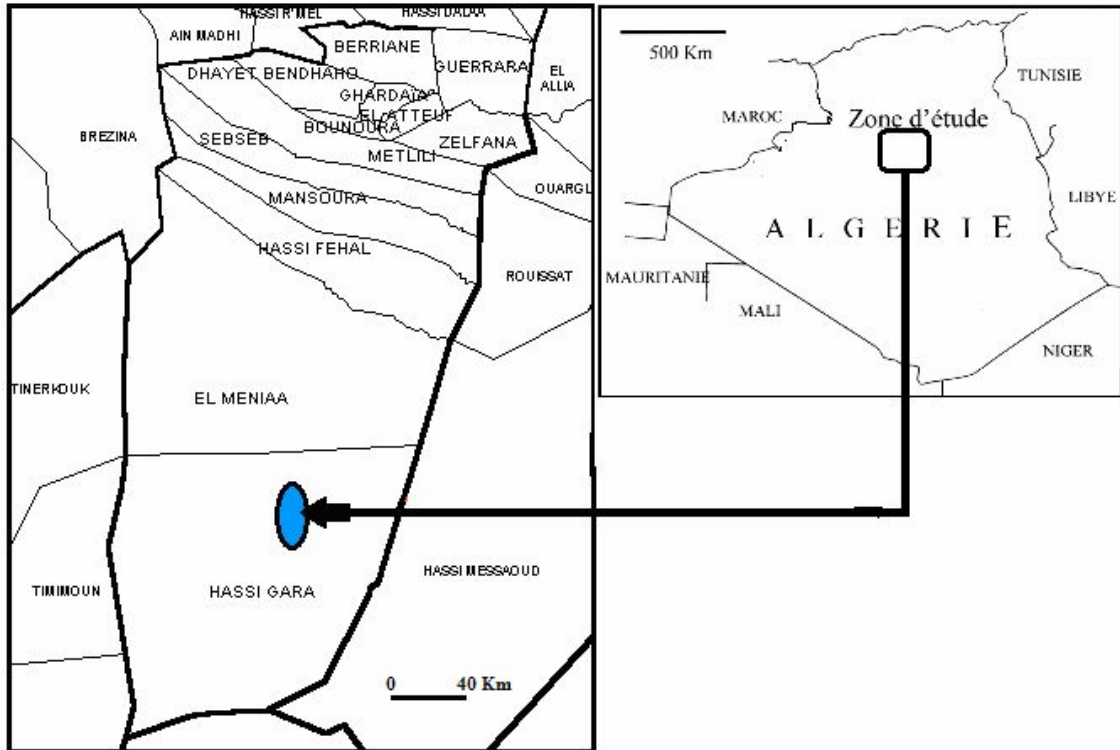


Figure.01. Situation géographique de la zone d'étude

Le lac d'El-Menia se trouve à 7 km de la commune de Hassi Ghara, et 12 Km de El-Menia au Sud-Ouest, s'installe sur une falaise d'environ 20m à l'Est, le Grand Erg Occidental à l'Ouest, au nord se trouve la commune de Hassi Ghara et au sud Maroukett (zone agricole). Le point le plus bas se trouve au niveau du lac inférieur est à 364 m. le lac supérieur marqué par une altitude de 369 m. Entre ces deux lac 5 m d'altitude qui favorise un écoulement de lac supérieur vers le lac inférieur et permet l'alimentation permanente du lac.

L'ancienne route (piste) passe à l'ouest du lac comme elle est indiquée par la carte topographique au figure.02, actuellement la route national n° 1 passe du coté Est du lac, 1 km d'environ. Le lac inférieur est le point le plus bas dans la région, permet la récupération de toutes les eaux des oueds existes depuis longtemps.

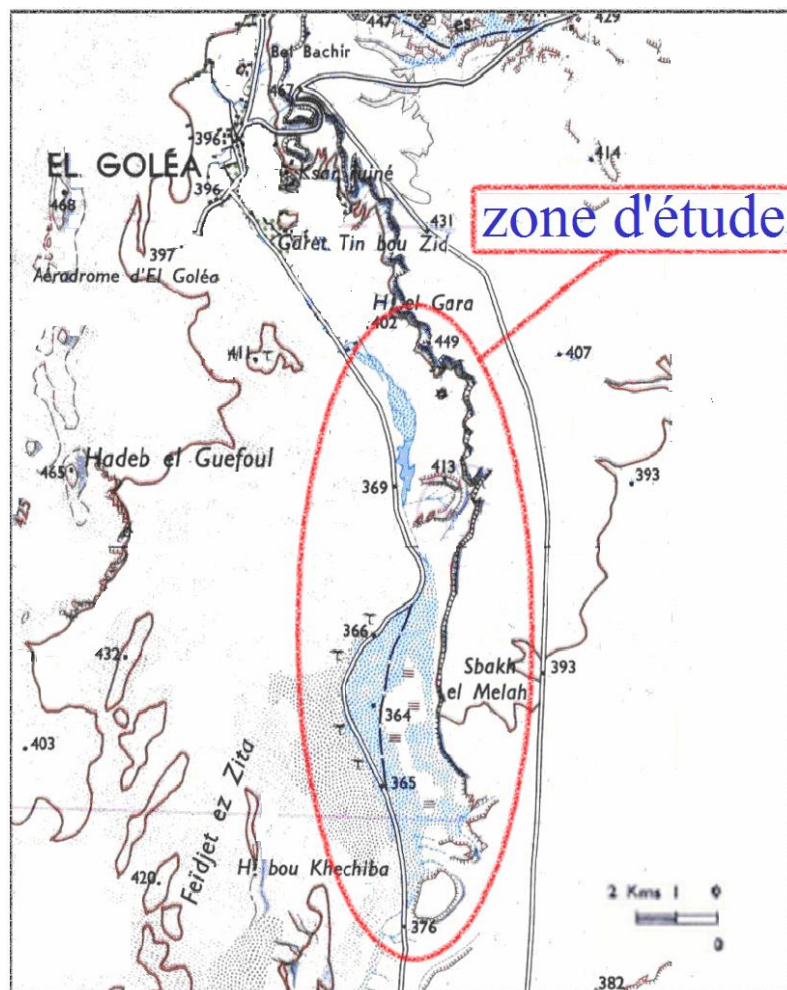


Figure.02. Situation de lac d'El-Menia

2. Hydro climatologie

La situation géographique de l'Algérie influe sur le régime climatique de chaque région, on trouve trois zones climatique distinctes ; au Nord ce trouve une climat méditerranéen, à l'intérieur du pays (hauts plateaux) un régime semi aride, et au grand Sahara s'installe un régime aride ou hyper aride

La région d'El-Menia à cause de sa situation géographique subit un régime saharien désertique, marquée par une absence de la précipitation durant toute l'année sauf quelques jours où en remarque une intense pluviométrie dans quelques minutes, déduire des crues catastrophiques, et qui déclanche des érosions et transporte des particules vers les dépressions fermes (bassins endoréiques). Ce phénomène engendre une fluctuation au niveau des eaux stagnantes à la période hivernale (le niveau maximum), les bordures du lac se trouvent immergé. A l'entrer de la saison estivale les eaux se retirent, et les bordures deviennent assécher.

Les principaux agents hydrologiques sont des précipitations, la température, le vent, l'humidité, et l'insolation. Ces facteurs contrôlent le développement du lac et sa dégradation.

2-1 La précipitation

Le Sahara Algérien reçoit partout moins de 200 mm de pluies annuelles (Dubos, 2002). La région d'El-Menia reçoit au moyenne une valeur de 84 mm de pluie annuelles au cours de la période 2000-2010

L'étude des variations des précipitations en fonction du temps pour la station d'El-Menia montre une grande différence entre le mois le plus pluviale septembre avec 17.9 mm/mois, et le plus sèche février avec 1.2 mm/mois (tableaux.01).

Tableau.01. Moyenne de pluie de la région d'El-Menia 2000-2011

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Σ
Précipitation mm	13,3	1,2	7,48	8,4	1,86	1,79	3,18	9,54	17,9	9	4,48	6,26	84

La comparaison entre les mois pendant les années d'observation montre une variation entre les mêmes mois de chaque année. Chaque saison on a une précipitation qui marque un changement de la saison. Le mois de septembre détermine un changement de

temps chaud vers une période froide (17.9 mm), les mois mars et avril déterminent le début d'une augmentation de température et l'absence de précipitation (figure.03)

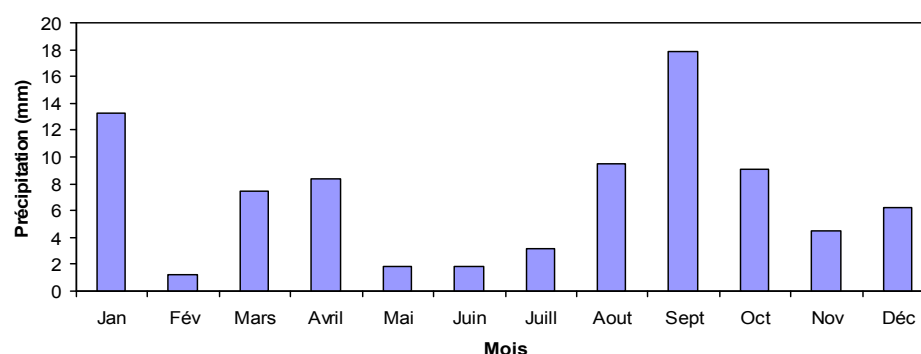


Figure. 03. Histogramme du moyen de précipitation de région d'El-Menia 2000-2010

2-2 L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de la région d'El-Menia reflète un régime saharien très sec en été et froid en janvier, la valeur enregistrée entre 22% au mois de juillet, et 55% au mois de janvier (tableau.02).

Tableau.02. l'humidité moyenne de région d'El-Menia 2000-2010

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité %	55,1	44,7	37,8	34	29	24,9	22	25,9	37,4	43,9	47,6	54,3

L'humidité est régulière à cause de la situation géographique de la région, le figure.09 présente une variation bien régulière, un seul point extrême au mois de janvier d'ordre 55.1 %, et un point minimal au mois de juillet environ 22 %, qui est liée à la forte température et à l'absence des surfaces d'eaux dans la région sauf le lac (figure .04).

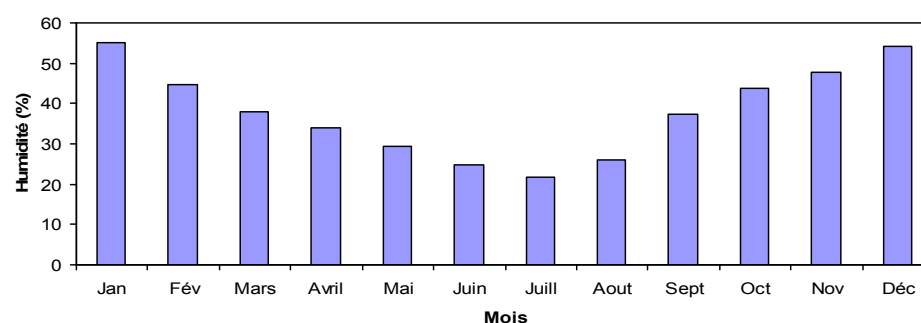


Figure. 04. Histogramme d'humidité de région d'El-Menia 2000-2010

2-3 Le vent

La situation géographique d'El-Menia est l'origine de grandes vitesses des vents. Les vitesses moyennes des vents dépassent 5.32 m/s. le régime des vents est majoritairement NE-SW, les plus intenses marqués au mois d'avril 7.59 m/s et les plus faibles au mois de Novembre 2.9 m/s (tableau.03). Ainsi on peut conclure à la période de vent de six mois allant de Janvier au Juin. Le lac bénéficie de ces vents par l'extension ouest (grand erg occidental) accompagnent par des sables éoliennes, les reliefs en Est de lac retiennent les vents arrivés de l'Ouest qui impliquent les remplissages du lac par un sédiment éolienne.

Tableau. 03. Vitesse de vent moyenne de région d'El-Menia 2000-2010

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesse de vent m/s	6,1	4,97	6,42	7,59	7,5	7,4	5,36	3,12	3,31	5,5	2,9	3,59

Le vent est un facteur très important dans le climat saharien, durant les mois de printemps on remarque des valeurs importantes et constantes d'ordre 7 m/s (figure .05), durant ces mois les vents vont ramener du sable de sud vers le nord.

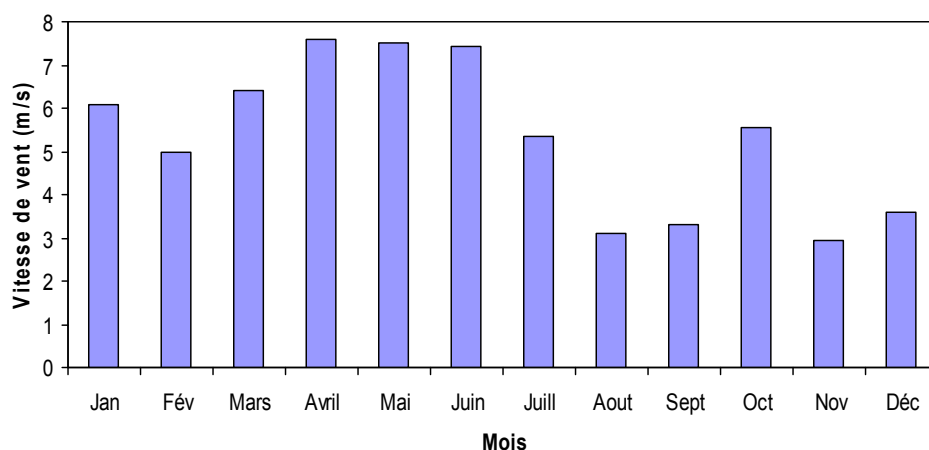


Figure. 05. Vitesse moyenne de vent d'El-Menia

2-4 La durée d'insolation

La durée de rayonnement de solaire global est définie comme celle de l'ensemble des rayonnements solaire reçus au sol sur toute surface horizontale, que ce rayonnement soit direct ou diffusé par l'atmosphère (Fillod, 1985 in Rhoujjati, 1995). La région d'El-Menia

bénéficie d'un ensoleillement important d'environ 3389 heures/an, le mois le plus ensoleillé est Juillet d'ordre 338 heures, plus de 11 heures/ jour (tableau.04)

Tableau. 04. Insolation Moyenne de la région d'El-Menia 2000-2010

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation heures/mois	249	245	276	296	312,5	335,8	338	324,1	271,5	256	250	235

Un seul mode correspond à l'évolution de l'insolation aux cours de l'année, le mois de Juillet marque la valeur le plus soleilleuse (figure.06). Le désert est un milieu du soleil, la surface des sols est très chaude pendant les mois d'été et la vie devient défficile, sauf à l'abri de soleil.

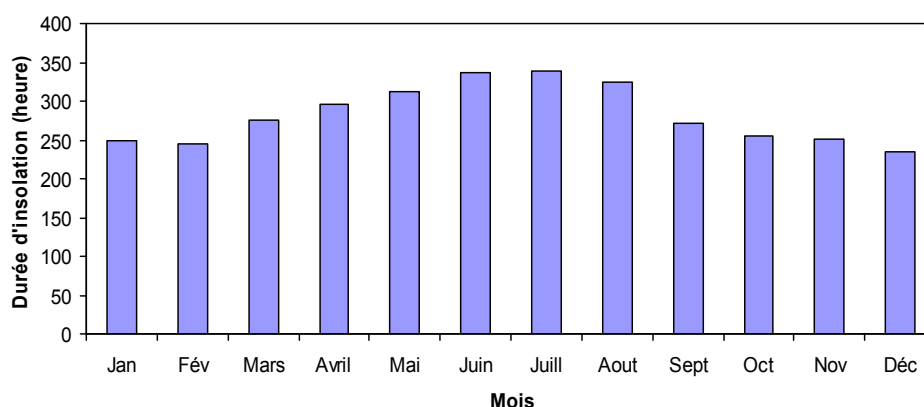


Figure. 06. l'insolation moyenne d'El-Menia 2000-2010

2-5 la température

L'étude hydrogéologique d'une région donnée devrait comporter l'analyse du caractère thermique. L'évolution de la température aux cours de l'année, contrôle l'évaporation des eaux du lac, traduit un changement dans les concentrations des éléments chimiques de l'eau, cela influe sur le cycle géochimique.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Température °C	11,4	13,8	17,9	21	25,7	31,1	34,8	33,8	28,9	24	16,3	12,52

Tableau. 05. Température moyenne de région d'El-Menia 2000-2010

Le Sahara est un milieu très chaud en été et très froid en hiver, les variation moyenne mensuelle de la période d'observation de la station d'El-Menia montre des valeurs extrêmes enregistré au mois juillet 34.8 mm (tableau.05), et des valeurs minimum au mois janvier 11.4 mm (figure.07).

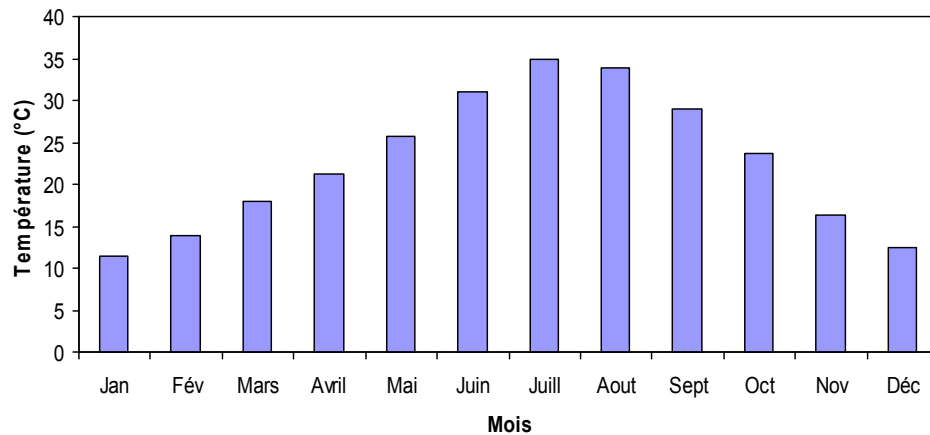


Figure. 07. Température moyenne mensuelle période d'observation 2000-2010

2-6 Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN

Selon GAUSSEN la période sèche est marquée par une température supérieure que la précipitation, à partir de cette définition, on a une période sèche aux cours de l'année sauf aux mois de janvier qui présente un mois humide lié à des faibles valeur de température, et non à des précipitations (figure.08).

Le diagramme pluvio- thermique montre que la température et la précipitation sont indépendant l'un de l'autre, l'augmentation de la température ne s'accorde pas avec les précipitations qui subit une diminution au début, ensuite se déclanche au mois de mars et avril, après des valeurs très faibles aux mois de mai, juin et juillet, à partir de septembre les températures commencent à baisser mais les précipitations marquent une importance au mois de septembre. Les facteurs température et précipitations sont très distincts à la zone saharienne à cause de l'éloignement des océans et des mers qui sont l'origine des eaux de pluie.

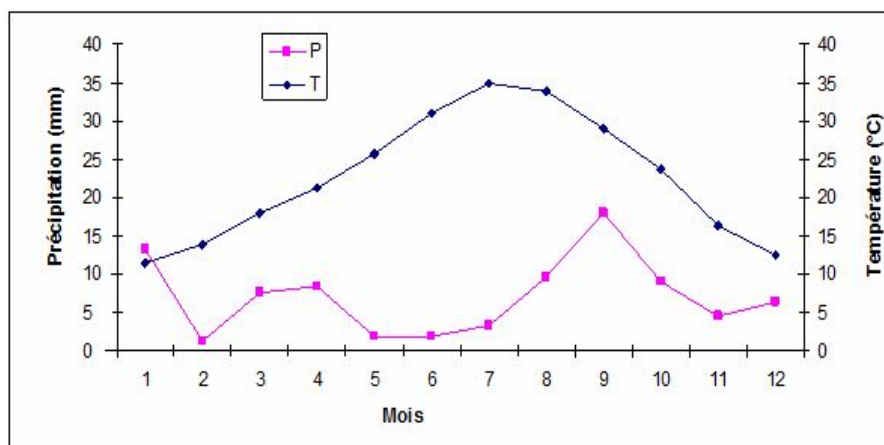


Figure. 08. Diagramme de Gaussen et Bernoule

2-7 Indice de l'aridité de Demartonne

Selon l'indice d'aridité, on classe les régions en 05 types de climat (tableau.06). DEMARTONE exprime l'indice d'aridité par la formule suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec :

P : les précipitations moyennes annuelles

T : la température moyenne annuelle

$$I = 7.03 / (22.60 + 10) = 0.21$$

La région d'El-Menia est classée selon l'indice de Demartone au zone Hyper aride d'ordre 0.21, cette valeur traduit le taux d'aridité qui est à l'extrême, connu au zone très sec au monde, dans le grand Sahara africain, où la vie est très dure au période d'été, où la température marque des valeurs proche de 50° C.

Tableau. 06. Classification des climats en fonction de l'indice de DEMARTONE

Type de climat	Humide	Semi-humide	Semi-aride	Aride	Hyper aride
Valeur d'indice I	$30 < I < 55$	$20 < I < 30$	$10 < I < 20$	$5 < I < 10$	$0 < I < 5$

2-8 Méthode d'EUVERTÉ

La relation entre précipitation et la température (P/T), permet de définir le type du régime selon la méthode d'EUVERTÉ. Le tableau.07. Montre des valeurs inférieures à un (1) sauf pour le mois de janvier 1.16, qui traduit un régime très sec, où l'absence des précipitation

pendant toutes l'année, et les précipitations durent quelques minutes sous la forme d'un orage.

Les précipitations sont liées à des surfaces d'eau et non pas à la température. La région se trouve dans un milieu désertique, connu par l'absence de l'eau.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation (mm)	13,30	1,20	7,48	8,38	1,86	1,79	3,18	9,54	17,88	9,04	4,48	6,26
Température (°C)	11,43	13,80	17,92	21,27	25,73	31,05	34,81	33,80	28,88	23,67	16,34	12,52
P / T	1,16	0,09	0,42	0,39	0,07	0,06	0,09	0,28	0,62	0,38	0,27	0,50

Tableau. 07. Le rapport entre précipitation et température dans la région d'El-Menia

2-9 Climat Gramme d'EMBERGER :

Selon EMBERGER l'indice d'aridité est exprimé par la relation suivant :

$$Q2 = (P / (M2 - m2)) \times 2000$$

Avec :

P : la précipitation moyenne annuelle en mm.

M : la moyenne du maximum de la température du mois le plus chaud (K)

m : la moyenne du minimum du mois le plus froid (K)

Le calcul de cet indice donne une valeur de 0.64 qui signifie un hiver frais, traduit les températures très basses au janvier inférieur de 10° C jusqu'à 3°C (figure. 09).

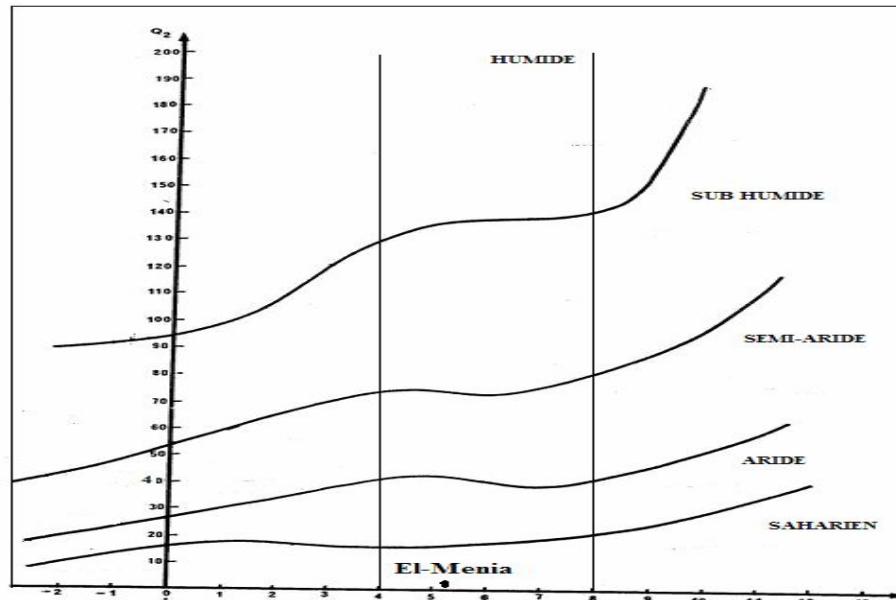


Figure.09. Clima-gramme de la région d'El-Menia

2-10 L'évaporation

L'évaporation est un phénomène essentiel aux cycle de l'eau, soit les précipitations, les eaux de sol, ou des eaux de surface sont contrôlés par la température, le taux d'évaporation montre une importance valeur au mois juillet d'environ 394 mm et une faible valeur aux mois de janvier d'ordre 93.7 mm (tableau. 08).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation mm	93,7	118	181,5	236	286	344	394	351	243	172	113,64	97,6

Tableau. 08. Evaporation Moyenne de la région d'El-Menia 2000-2010

Ce phénomène est régulier et il est en relation avec la température (figure.10), et non pas à la précipitation (13.3mm) aux janvier, qui signifie une origine des eaux sous terrains profonds et aussi de la nappe phréatique qui est proche de la surface dans la région d'EL-Menia environ 2m seulement.

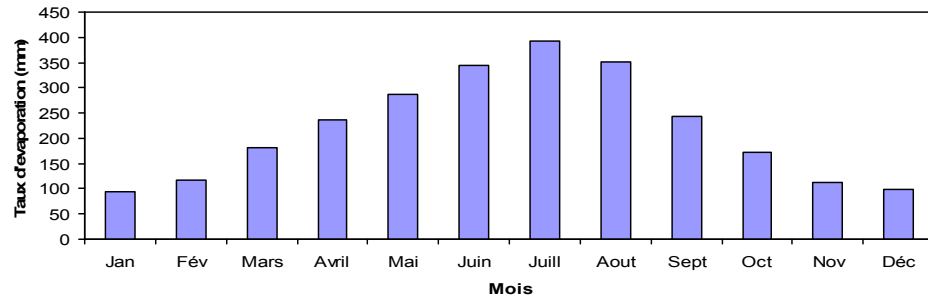


Figure. 10. Evaporation moyenne d'El-Menia 2000-2010

2.11. Evapotranspiration du lac d'El-Menia

Le désert est caractérisé par l'insuffisance des eaux. La région d'El-Menia fait partie de ce climat aride où les pluies sont rares et subit des évaporations intenses conduites à la sécheresse des sols. L'étude des sources d'eaux permet de savoir la nature d'alimentation des eaux, et ensuite déduire la nature des compositions chimiques des dépôts évaporitiques qui résulte de phénomène de l'évaporation.

L'estimation du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite de la série (2000-2010) est basée sur la formule suivante :

$$ETP(c) = ETP \times K = 16 (10 \times T/I)^{\alpha} \times K \quad (\text{mm/an})$$

I: Indice thermique mensuelle $I = (T/5)^{1.514}$

I: Indice thermique annuel $I = \sum 12.i$

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré en °C.

α : exposant climatique $\alpha = 0.0016I + 0.5$

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en (mm d'eau).

Tableau. 09. Bilan des évapotranspirations de région d'El-Menia

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct.	Nov.	Dec
P (mm)	13,30	1,20	7,48	8,38	1,86	1,79	3,18	9,54	17,88	9,04	4,48	6,26
T (°C)	11,43	13,80	17,92	21,27	25,73	31,05	34,81	33,80	28,88	23,67	16,34	12,52
I	3,50	4,65	6,91	8,96	11,95	15,88	18,87	18,06	14,23	10,53	6,01	4,01
ETP	12,87	21,84	45,49	73,68	125,77	213,22	293,97	270,75	173,98	99,44	35,11	16,62
K	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
ETPc	11,58	19,00	46,85	79,57	148,40	249,47	352,76	308,65	179,20	97,45	31,25	14,63
ETR	13,30	1,20	7,48	8,38	1,86	1,79	3,18	9,54	17,88	9,04	4,48	6,26
EXCIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEFICIT	-1,72	17,80	39,37	71,19	146,54	247,68	349,58	299,11	161,32	88,41	26,77	8,37

3. Géologie régional

Le Sahara est, bien plus que tous les autres déserts du monde, un pays à l'échelle des phénomènes géologiques, de l'échelle locale à celle du continent : structures tectoniques, phénomènes sédimentaires, glaciations, etc. (Fabre. 2005).

D'après Fabre (2005) le paléozoïque du Sahara centrale est subit des variation climatique et tectonique montré par des auteurs basé sur des donnés des sondage pétrolier au début le Cambrien se déposé sur un socle précambrien métamorphique par des grés, suivi par transgression généralisé au Ordovicien, a la fin la région subit une glaciation généralisé, les faciès Silurien de Sahara présente par des argiles riche en matière organique (block shales) liée un la remonte de la mer, le Dévonien marqué par des sables arrivent sur un mer qui s'étale au sud, la faune benthique s'appelle (ancien monde). Au Permo-Carbonifère s'installent un régime marin et continentale, et la formation de la chaîne hercynienne

Au mésozoïque la région du Sahara occidental et central selon FABRE (2005) subit trois épisodes.

1-La finition d'une pénéplaine. Un vaste golfe peu profond et des lagunes couvrent le bas sahara. Des argiles, du sel, de l'anhydrite s'y dépose tandis qu'à l'Ouest s'empilent des coulées de basalte, issues de quelques grands centres volcaniques, au Maroc, à Taoudenni, à Fersiga, dans le Hodh.

2- L'atlantique nord s'ouvre devant l'ouest africain. Des bombements et des fossés se créent. D'épaisses nappes de sables et d'argiles se sédimentent sur le Sahara central. C'est ce que l'on appelle le continental intercalaire. Il semble que sur le craton ouest africain où l'érosion dissout et déblaie les trapps basaltiques, rien ne se dépose sauf dans quelques fossés.

3- Une double inondation, au début et à la fin du crétacé supérieur, venue de la Téthys, gagne le sud du Sahara, isolant quelques grandes îles comme le Hoggar.

Les terrains secondaires caractérisent la région d'El-Menia, un plateau raviné au nord, et plane au sud, ces couches d'age secondaire ont marqués par des petits falaises, occupé par des oueds tel que Oued Seggueur et Oued Sbaa. La région d'El-Menia formé des ensembles suivant :

- Vallées de Oued Segguer occupé par des Oasis.

- Erg Occidental à l'Ouest, des dunes sableux l'origine des dépôts éolienne.
- Plateau aux Sud et l'Est, appelle plateau de Tademaït en majorité calcaire

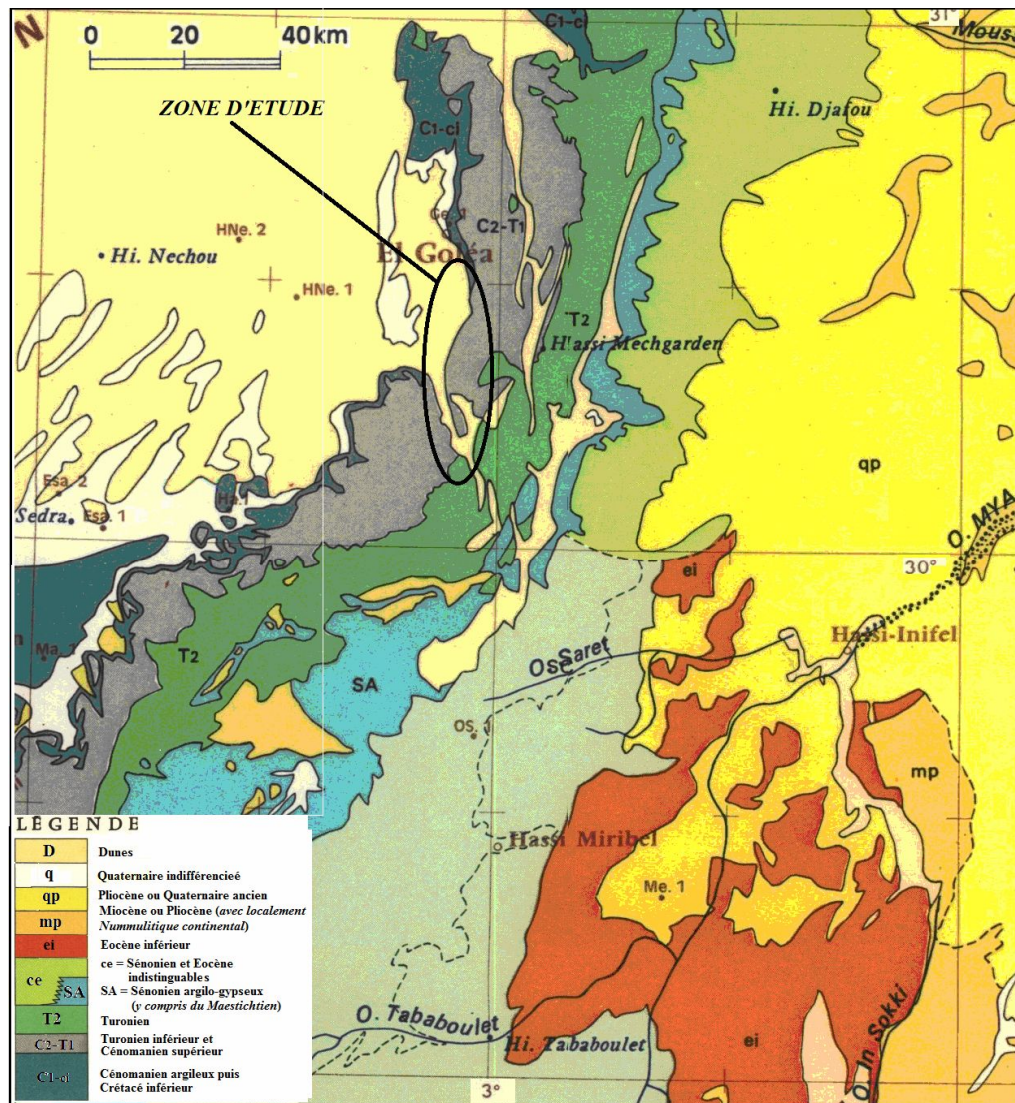


Figure.11. Carte géologique du bassin mésozoïque du Sahara Algéro-Tunisien, région El-Goléa, (BUSSON, 1967)

Les terrains de la région d'El-Menia sont étudiés par plusieurs auteurs, et basé sur la description directe des affleurements et les analyses des sondages faits par BUSSON. D'après

La carte géologique faite par Busson (figure. 11), les terrains sont d'âge secondaire repartie par un terrain ancien d'âge céno-manien inférieur à l'Ouest de nature lithologique argileuse détermine une phase humide masquée par le grand erg occidental, les terrains de

cénomannien moyen est supérieur se trouvent au tour de zone d'étude surtout à l'Est d'une faciès calcaire, le turonien commence l'affleurement à 19 km au sud d'El-Menia.

Selon la carte géologique de Busson le les affleurement des couches est plus large de sud en nord, et très court de Ouest en Est, cela due à l'importance des variations de niveau topographique, qui pose le problème de l'origine de ces affleurements.

L'installation de grand erg occidental à l'Ouest d'El-Menia, lie à la régime continental qui à subit la région durant le quaternaire, les vents ramène les sable de sud vers le nord, les reliefs de chebkha et mouvement alpine fait un obstacle naturelle, et sont aussi les origine des eaux infiltre dans ce immense surface dunaire, ces eaux allument les nappe phréatique des oasis installe dans la région.

Une description d'une log lithologique d'un forage d'eaux permet de dire que la formation importante est du secondaire de type calcaire à argile, et du sable vers la profondeur (figure.12)

- A la base on a une formation gréseuse appelée Albien connu dans la région sous le non la nappe continental intercalaire

- Au dessus se déposé les terrains argileuses d'age Cénomannien connu dans la région par le non des argile d'El-Goléa

- Au somment se trouve le Turonien constitué des formation calcaire très dur, affleure au nord et sud Est d'El-Menia

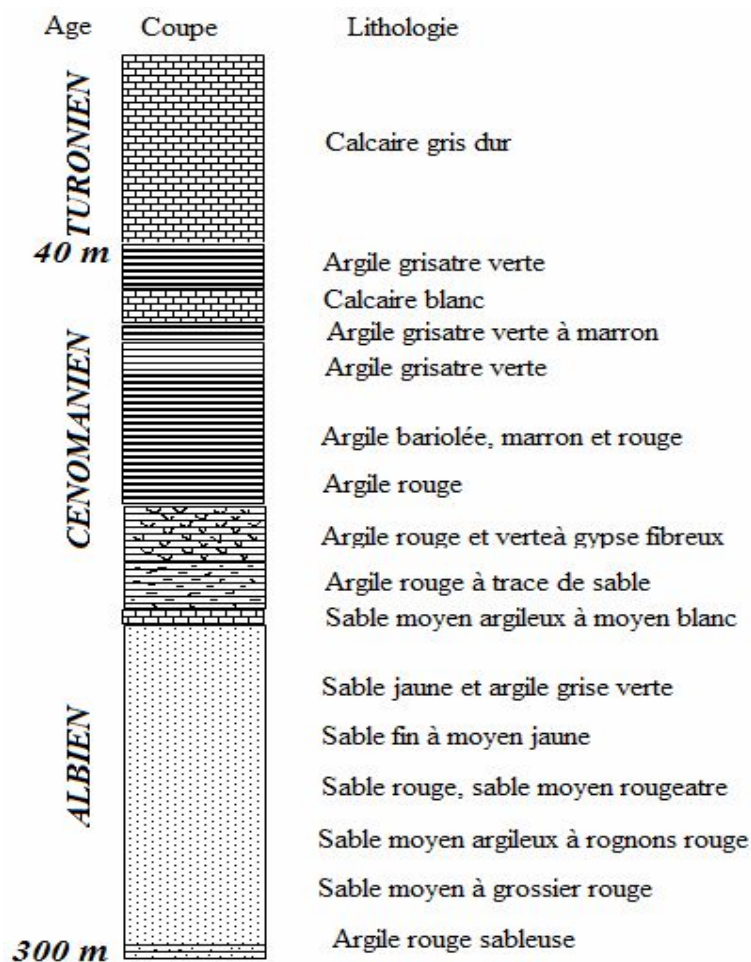


Figure 12. Log lithologique à partir d'un forage d'eau au sud d'El-Menia

4. Tectonique

La région est calme, les formes des mouvements sont absentes. L'existence de quelque forme locale liée à des phénomènes climatique tel que les diaclases dans les formations de calcaire.

Certain ondulation liée à des mouvements régionaux à la fin de secondaire ont étaient enregistré dans quelques endroits, le plus important est la faille N-S d'Amguid. L'émersion de la région au tertiaire prennent une dissolution des formation carbonatés, qui traduit les formes de relief accidenté ou des falaises, on peut situer aussi la notion des oueds qui sont aussi les résultat d'un mouvement d'extension faible accompagnée par altération et l'action des vents.

Au Sahara, le mésozoïque ne voit pas de formation de grandes chaînes de montagne, mais des jeux de failles, des flexures et surtout l'ouverture de l'océan Atlantique, en plusieurs épisodes, et celle de fossés à l'intérieur du continent (FABRE, 2005)

5. Paléogéographique

La région d'El-Menia a connue plusieurs fluctuations de niveau d'eau selon le climat qui règne en général le nord d'Afrique aux cours des ères géologique :

Selon BUSSON le Sahara à reconnue connue plusieurs régime soit continental à l'Ordovicien on a une période d'érosion fluviale suivi par une mer peu profonde, et à la fin de l'ordovicien une calotte glaciaire et d'un désert froid. Au Dévonien une nouvelle transgression marine marque par des argiles. Au carbonifère survient une nouvelle transgression, s'avancant très loin vers le sud apportant des faunes riches de vertèbres et de poissons, et dans les zones les moins profondes des récifs à Stromatolites. Le Carbonifère souligne un retraitement de la mer, ensuite à la fin de primaire le Sahara continue sa lente remontée vers le nord et au trias inférieur il est au voisinage de l'équateur.

Pendant tout le début du secondaire, du trias au jurassique, le Sahara est presque totalement émergé constituant une pénéplaine rigide aux reliefs peu importants, gardant cependant d'importantes lagunes et des lacs. Les bancs de sels massifs, les anhydrites et diverses évaporites qu'on rencontre un peu partout dans la cuvette du Nord-Sahara datent de cette époque (Dubost, 2003).

Au cours de l'Eocène des événements tectonique importants vont donner au Sahara son visage définitif. A la fin de l'Eocène on a une panacher des grands ergs occidental et oriental et de part et d'autre de la dorsale mozabite.

Le période quaternaire s'ouvre sur une phase plutôt humide installée des la fin du tertiaire et qui va durer un bon million d'années.

6. Hydrogéologie

La région d'El-Menia est parmi les zones le plus riche en eau dans le Sahara Algérienne, cette ville est marquée par une nappe phréatique proche de surface environ 2 m, et une nappe aquifère de continental intercalaire.

6.1. La nappe phréatique

Elle se trouve proche de la surface, à 0.65 m au niveau du lac supérieur, et variée selon l'endroit, selon GOUSKOV, elle monte à 1.40 m au quartier Bel-Bachir, et 0.7 m au Hassi Gara.

Elle est de natures gréseuses, quaternaires, cette nappe alimentée par des eaux d'Oued Seggueur, d'origine l'Atlas saharien au Nord et termine vers les dunes de l'erg occidental.

6.2. La Nappe du Continental Intercalaire

Cette nappe est une immense réservoir d'eau, selon OULD-BABA elle est constituée des sables à grain moyens à grossiers, ils couvrent plus de 30 000 Km² sur une bande allant du plateau de Tinrhert jusqu'au sud de la Libye (figure.13)

Elle est profonde d'environ 200 m, au niveau d'El-Menia. Elle est alimenté par des eaux de pluie qui tombe au nord, et s'infiltre avec l'aide de l'erg occidental, cette erg est une ensemble des sables dunaires très perméable d'une surface important, allons d'El-Menia à l'Est, Bechar vers l'Ouest, Timimoun au Sud, et la dorsale de Mzab au Nord (figure. 13).

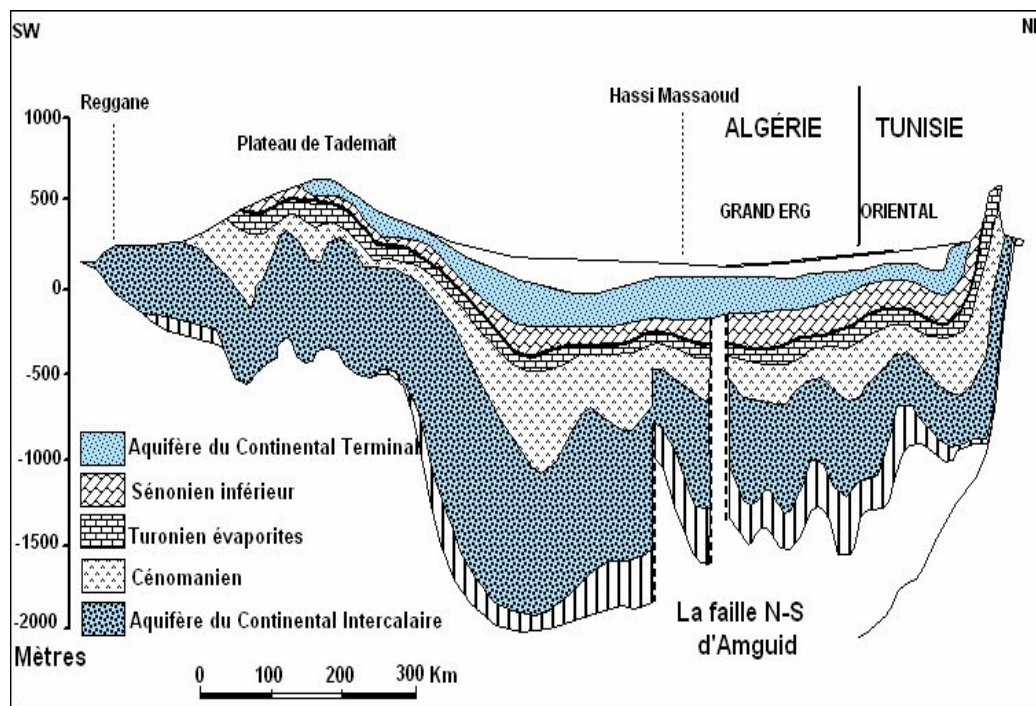


Figure.13. Coupe hydrogéologique à travers le bassin de Reggan à la Tunisie (PNUD-UNESCO, 1972)

Chapitre II : Synthèse bibliographique

Les régions désertiques qui subissent un régime aride ou semi aride, présentent des zones humides isolé ou des surface d'eau salée contrôlée par certains paramètres tels que la température et sol. Les études faite dans ces zones sont nombreux et permet à nous de comprendre comment ces écosystème sont mise en place et leur intérêt dans la vie des gent qui s'installe au bord des ces milieu très sévère de vivre. Les dépressions qui favorise l'accumulation des eaux soit précipitation ou eaux souterraine sont des origine différents, l'installation et leur développement sont les accès des chercheurs qui suivi ces milieu pour rependre à des questions, comment fonctionne une lac ou chott ?

1. Intérêt des études géochimique d'un lac

Le but d'une étude géochimique d'un lac n'est pas de présenter une série d'analyses chimique mais d'essayer de quantifier les flux d'éléments entrant et sortant du lac, de localiser les principales réactions chimique et biochimique s'y produisent et d'en estimer les vitesses. On peut atteindre cet objectif au moyen de modélisations prenant en compte en plus des résultats des analyses chimiques, des études de physique (bilan energetique) et de biologie (dynamique des populations de végétaux, animaux et micro-organismes). Des logiciels permettant une modélisation globale des lacs ont été élaborés (par exemple AQUASIM, Reichert, 1984) (Michard, 2001)

2. Condition de formation des lacs salés

Une installation d'une sebkha ou lac liée à des conditions naturels qui règnent pendant certain temps pour forme une dépression ou bassin d'accumulation des eaux, qui subit une évaporation, à cause de température élevé. Selon Hans et al 1978 les conditions de la formation d'un lac sont:

- La sortie de l'eau doit être restreinte, comme elle est dans un bassin hydrologique fermé.
- Le taux d'évaporation doit être supérieur aux eaux d'apports (d'alimentation)
- La quantité d'eaux d'alimentation doit être suffisante pour rester dans le bassin.

3. Types des lacs

Trois type de lac sont mise selon leurs bilans hydrologiques par Yan, J.*p., 2001

1- lac éphémère (classe A)

Ce sont des lacs saisonniers, peuvent devenir secs dans un intervalle de temps très court, cela est dû au taux d'évaporations très élevé, il s'agit de bassins fermés et ne reçoivent pratiquement pas de la matière minérale dissoute. Le pH dans ce cas est contrôlé par la réaction des minéraux seulement, parce que les protons libérés par les réactions de ces derniers ne peuvent pas être neutralisés par le flux des bicarbonates. La basse alcalinité des eaux rend le milieu acide (Bryant et al, 1994).

2- lac éternel (classe B)

Le volume d'eau dans ce type du lac décroît graduellement dans un grand intervalle de temps. En contre partie, la salinité du lac décroît à cause du flux d'eaux qui arrive au lac, provoquant la dilution des eaux. Le pH du lac est souvent maintenu pendant longtemps à un niveau élevé (Hacini, 2006)

3- lac éternel large (classe C)

Leur volume d'eau reste constant pendant de très longues périodes. L'augmentation de la salinité est continue dans le temps à cause du flux de la matière dissoute, déversée dans le lac, le pH reste élevé et dépend de la matière minérale dissoute (Hacini, 2006).

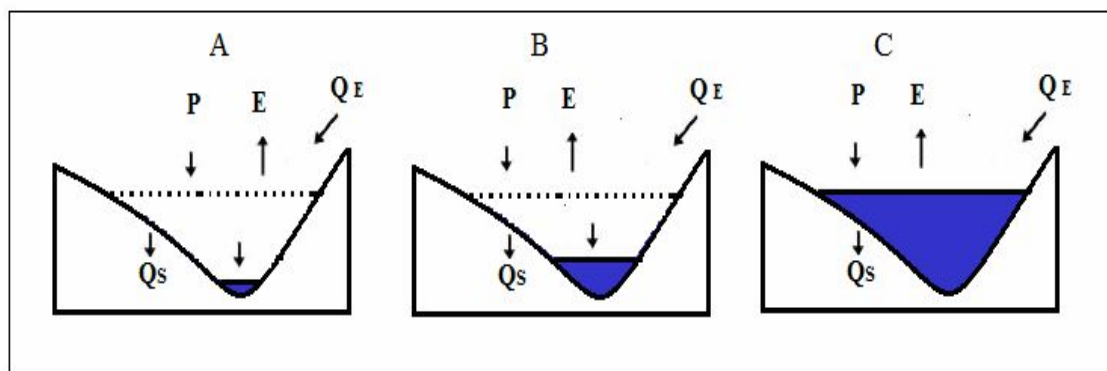


Figure.14 : Les différentes classes des lacs fermés d'après Yan et al, 2001 in HACINI, 2006

4. Variabilités des sources d'alimentation des lacs salés

La variété des sources d'alimentation d'un lac, influe sur la nature des formations évaporitiques qui se forme pendant l'évolution du lac salé, contrôlé par l'origine des eaux, le taux d'évaporation, et aussi la nature des terrains alentour du lac. Ces facteurs favorisent à chaque lac une séquence évaporitique caractéristique du lac.

5. L'importance des eaux souterraines

Selon Bowel 1986 les systèmes d'eaux souterraines sont importants dans la formation et la préservation des évaporites continental soit par

- 1- la nappe phréatique s'approche de la surface du sédiment
- 2- les failles et les cassures de l'aquifère
- 3- la porosité de l'aquifère permet le contacte avec les sédiment des lac non perméable
- 4- l'augmentation des saumures par l'effet des écoulements des eaux souterraine très dilue.

6. Les séquences des minéraux évaporitiques

D'après GUEDDARI (1980) et HACINI (2006), les minéraux évaporitiques se précipitent dans un séquence suivant les concentration des éléments chimique dans les eaux du lac

Tableau 10 : la séquence des précipitations des minéraux des différent type d'eaux d'après GUEDDARI, 1980 et HACINI, 2006.

Eau de mer	Eau du Jerid	Eau du Chott Merouane
Carbonate de Ca et Mg	Calcite	Calcite
Gypse	Gypse	Gypse
Halite	Thénardite supposé	Halite
MgSo4	Halite	Bloedite
KCL	Sulfate de Mg supposé	Epsomite
Bischovite		Bischovite

Le halite est l'un des minéraux évaporitique qui précipite dans les sebkhas et chotts, selon Hacini 2006 La production de l'halite dans le chott Merouane dépasse cent vingt milles tonnes par ans.

Les dépôts salins d'un bassin évaporitique se font en général, avec une vitesse beaucoup plus grand que celles des dépôts des sédiments clastiques. L'épaisseur des couches

évaporitique est fonction de la concentration et de la hauteur des saumures superficielles, soumises à l'évaporation. La nature des minéraux formés par ce mécanisme n'est pas la même pour tout le bassin, elle dépend de la topographie, de la composition chimique des saumures et de la température qui règne au moment de l'évaporation (Gueddari, 1980)

Les séquence des minéraux précipités par évaporation naturelles eaux de mer, des eaux du Jerid, ainsi les eaux de Chott Merouane

7. Classification des chotts en Algérie

Le lac d'El-Menia est une surface d'eau permanent, la nature des eaux est variée selon l'endroit, au niveau de lac supérieur est douce mais vers le sud la salinité devient importante.

La comparaison de lac avec d'autre lacs en Algérie permet de dire que ce lac est moins important de surface et la salinité, qui favorise un développement des faunes et des flores. Le tableau suivant site quelque surface d'eau dans l'Algérie.

Tableau 11 : Classification des chotts en Algérie (RAMSAR, 2003)

Nom de la zone	Superficie ha	Nature de l'eau
Chott Ech Chergui	855.500	salé, saumâtre et d'eau douce
Chott Melghir	551.500	Salés
Chott El Hodna	362.000	source d'eau douce
Chott Merouane	337.700	Salé
Lac d'El-Menia	7000	Douce et salé
Chott Tinsilt	2.154	Saumâtre
Chott Oum Raneb	7.155	Salé

8. Les études des eaux de mer

Le système géochimique de l'eau de mer est très important pour les études des eaux saline, il fait le repaire entre ces études et leur évolution dans le temps.

LEVY (1977) a effectué des expériences d'évaporation isotherme de l'eau de la méditerranée en vue de déterminer les seuils de concentrations nécessaires à la

précipitation du gypse et de l'halite. L'auteur ne décrit pas précisément les minéraux formés au cours de l'évaporation, ni les conditions dans lesquelles cette expérience a été menée au cours de l'évaporation, ni les conditions dans lesquelles cette expérience a été menée, notamment la vitesse de concentrations de la solution. Ceci empêche une exploitation plus approfondie de ces données, (HACINI, 2006)

D'après HACINI, (2006) Les marais salants constituent des laboratoires naturels pour l'étude de la précipitation des sels de plus, leur mode de fonctionnement est une illustration du fractionnement des sels par cristallisation.

Après qu'un élément soit soustrait de la phase aqueuse par la précipitation d'un sel, la solution est transférée dans le bassin suivant, de telle façon, qu'une fois formés, les solides ne se trouvent plus en contact avec les eaux dont ils sont issues. Ceci distingue la cristallisation fractionnée du processus de précipitation « à l'équilibre » au cours duquel, les sels restent en contact avec la solution et peuvent ainsi se redissoudre à un stade ultérieur de l'évolution du système, lors de l'évaporation (HACINI, 2006).

ZHEREBTSOVA ET VOLKOVA (1966) rapportent les résultats de l'évaporation des eaux de la Mer noire et du lac Sasyk-Sivash dans des bassins de marais salants.

L'expérience a été poussée jusqu'à la formation des sels de potassium. Ces auteurs décrivent la formation des minéraux suivants au cours de l'évaporation des eaux du lac de Sasyk-Sivash.

- gypse
- halite
- sulfates de magnésium : epsomite $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, puis hexahydrate $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

La séquence minéral observée correspond assez bien à celle calculée par HAVIE et al. (1980). D'après ces auteurs, le sulfate de magnésium présent dans l'assemblage final est la kiesérite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) et non l'hexahydrate que décrivent ZHEREBTSOVA ET VOLKOVA (HACINI, 2006).

Un marais salant situé en Yougoslavie a été étudié par HERMANN et al., (1973). L'intervalle d'échantillonnage a été plus resserré que dans les cas précédents ; où les analyses sont régulièrement espacées pour des forces ioniques de 0,7 à environ 9. Quatre sels susceptibles de se précipiter, qui sont essentiellement les suivants : le gypse, l'anhydrite, l'halite et la glauberite (HACINI, 2006).

Le gypse atteint la saturation pour une force ionique de 2,5, ce qui correspond à une étape de concentration d'environ 3,5 fois celle de l'eau de mer. Après avoir atteint un maximum de 1,3 pour $I=4$, son indice de saturation décroît (HACINI, 2006).

La précipitation du gypse appauvrit les eaux en calcium, ce qui explique la décroissance de son indice de saturation.

Les eaux de force ioniques supérieures à 4 sont saturées par l'anhydrite. On notera aussi que celle-ci n'est stable qu'à 25° C, au contact de solutions d'activité de l'eau inférieur à 0,77 (HARDIE, 1967), ce qui est réalisé pour $I = 6,5$.

Après un maximum situé entre $I = 6,5$ et 8, son indice de saturation décroît, ceci peut être dû à la précipitation de la glauberite qui consomme le calcium restant en solution. Une prise en compte des effets de la température est néanmoins nécessaire pour une discussion plus approfondie des résultats de HERMANN et al.

Les trois exemples donnés illustrent parfaitement la nécessité des analyses chimiques et de l'échantillonnage resserré en vue d'une discussion quantitative de l'évolution de l'eau de mer lors de son évaporation.

9. Les saumures naturelles

Dans certaines circonstances particulières, les lacs et les autres étendues d'eau fermées peuvent voir leur charge dissoute augmenter et leurs eaux devenir salées. Ceci peut être causé, soit par une évaporation excédant l'apport d'eau, soit par un apport d'eau déjà salée, ou bien par les deux à la fois. Ce type de système naturel est généralement situé dans des bassins sans exutoire (voir exemple GAC et TARDY (1980) pour le lac Tchad), soumis à un climat aride. Le déficit en eau créé par l'évaporation présente à la fois un intérêt économique (extraction des sels et une importance géologique certaine. Ces derniers n'ont fait l'objet que d'un petit nombre d'études peu poussées (EUGSTER et HARDIE, 1978) in (HACINI, 2006).

A partir des données de la littérature concernant l'analyse chimique des eaux de divers lacs qui présentent le faciès de l'eau de mer (voir saline neutre, GAC et TARDY, 1980), on a cherché à caractériser l'évolution de ces eaux naturelles par la variation du degré de saturation des divers minéraux. Le modèle géochimique présenté ici est suffisamment fiable pour permettre :

- l'évolution de la qualité des analyses chimiques des solutions par la dispersion des indices de saturation calculés ;

- la détermination précise des conditions de formation des minéraux à 25° C, principalement la salure et l'activité de l'eau des solutions.

Pour certains systèmes étudiés (par exemple, le Bocana de virilla), l'information manque et le nombre des analyses des eaux fourni par la littérature est trop faible pour permettre une étude détaillée. On a cependant inclus les résultats de nos calculs (christoph M., 1980), par souci d'exhaustive. En plus de cette étude, on a cherché à dégager quelques traits généraux de la formation des sels, malgré les différences hydrologiques, climatiques et chimiques entre les systèmes examinés (HACINI, 2006).

10. Les grands surface d'eaux continentales au monde

10.1. La mer morte

La mer morte est le plus grand lac salé dans le monde. Située entre la Palestine et la Jordanie, dans une profonde dépression (altitude des eaux de surfaces : -395 m).elle est formée de deux parties bien distinctes : le bassin du Nord dont la profondeur. L'activité humaine (marais salants) a considérablement changé l'aspect du bassin du sud qui est maintenant presque asséché (MARCUS, 1981). Le bassin du nord qui a été étudié, il présente une stratification importante des eaux (NEEV ET EMERY, 1967 cité par EUGSTER et HARDIE, 1978). Il est stable jusqu'au milieu des années 70, puis disparaît graduellement depuis (BEYTH, 1980, STEINHORN et EMERY, 1967 cité par EUGSTER et HARDIE, 1978). On distinguait alors trois zones de densités différentes : les eaux supérieures (upper water mass densité 1,205, LERMAN, (1967), une masse d'eau intermédiaire (transitionnel water mass, densité 1,224), et les eaux profondes (lower water mass, densité 1,233). A partir d'un modèle chimique basé sur la règle de Harned, LERMAN (1967), ayant calculé les activités des composants majeurs des eaux de la mer morte et en a conclu que les eaux profondes étaient saturées vis-à-vis de la halite. Les compositions chimiques des mêmes eaux qui ne correspondent pas à celles de LERMAN, alors que la référence citée est la même (i. e NEEV et EMERY, 1967). Outre, les analyses de NEEV et Emery pour les années 60, on dispose d'une analyse de MARCUS (1977) pour l'année 1976 – 77, et de celle de KRUMGALZ ET MILLERO (1982), pour l'année 1979, (HACINI, 2006).

Les calculs menés par cristophe, M. (1983) montrent que l'indice de saturation de la halite a augmenté pendant les vingt dernières années pour atteindre la saturation, ce qui rejoint les observations de BEYTH (1980) sur les sédiments récents de la mer morte. Les activités de l'eau calculées sont en bon accord avec les mesures de MARCUS (1977) et de NEUMANN 1958, Cité par LERMAN, 1967). Le modèle de LERMAN s'écarte de la mesure environ 0,03 (5%). On sait (HARVIE et WEARE, 1980) que les modèles basés sur la règle de HARNED (par exemple WOOD, 1975) manquent de précision dans la description des solutions concentrées. Il est donc probable que la conclusion de LERMAN sur la précipitation de la halite des les années 50 soit erronée, et que la saturation vis-à-vis de ce minéral n'ait été atteinte que très récemment comme le montrent ces calculs, (HACINI, 2006)

KRUMGALZ et MILLERO (1982) ont utilise le modèle de pitzer pour calculer le degré de saturation du gypse dans la mer morte. Les paramètres d'interaction qu'ils ont choisis sont différents de ceux que nous avons utilisés. Les eaux de la mer morte sont sursaturées par rapport au gypse et le degré de saturation a augmenté avec la force ionique de la solution au cours des 20 dernières années. NEEV et EMERY (1967, cités par EUGSTER et HARDIE, 1978) ont recueilli de fins cristaux de gypse (et d'aragonite) en suspension dans les eaux du lac. Cependant, on doit noter que les concentrations sont telles que l'activité de l'eau de ces saumures, calculée pour une température de 25° C, qui est celle des eaux de surface (MARCUS, 1977) correspond au champ de stabilité de l'anhydrite, (HACINI, 2006).

10.2. Sebkha d'Abou Dhabi

Deux exemples de tels systèmes ont été étudiés par LEVY (1977) et BUTLES (1969).

Pour le gypse les analyses de Ca et SO₄ ne permettent pas une discussion poussée. LEVY lui même avertit le lecteur du manque de précision des mesures. On peut quand même voir une saturation de ces saumures par rapport au gypse (HACINI, 2006).

BUTLER (1969) à étudié une sebkha d'Abou Dhabi, sur le golfe d'Arabie. De la mer vers l'intérieur des terres, les sédiments montrent une zonation marquée en carbonate de calcium, gypse, anhydrite, avec quelques traces de halite. Les eaux en contact avec les sels sont de plus en plus concentrées et le gypse est progressivement remplacé par l'anhydrite. Cette sebkha représente un cas intéressant dans lequel l'anhydrite est en contact avec la solution salée. Cependant, il est généralement admis (voir BRAITCH,

1971) que l'anhydrite n'est jamais un minéral primaire et qu'elle ne provient que de la déshydratation du gypse (HACINI, 2006).

10.3. Bocana de virilla

Le bocana de virilla est un étroit lagon situé dans le nord ouest du Pérou. Large de 2 Km, il s'étend sur une longueur de 30Km dans le désert de Sedura, MORRIS et DICKEY, (1957), ont observé de l'embouchure à l'extrémité, la succession carbonate de calcium, gypse, halite qui correspond à l'accroissement de la salinité des eaux au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer. Le calcul des indices de saturation de ces eaux fait apparaître une forte sursaturation du gypse et de halite (HACINI, 2006).

10.4. Le chott El Jerid

Situé dans le sud tunisien, le chott el Jerid est un vaste lac salé dont les eaux échantillonnées et étudiées par Gueddari (1980) présentent un large éventail de concentration. GUEDDARI et al., (1983) ont calculé le degré de saturation des eaux vis-à-vis des divers minéraux et ont mis clairement en évidence la saturation du gypse et de la halite grâce au modèle de pitzer, alors qu'un modèle de paires d'ions (FRITZ, 1981) se révélait défaillant à de telles concentrations. Les calculs présentés dans cet article souffrent néanmoins de défauts mineurs : l'utilisation de paramètres d'interaction de diverses origines et les produits de solubilité des minéraux, tirés de NAUMOV et al., (1971) qui ne sont pas compatibles avec la modélisation de la phase aqueuse. Ces auteurs n'ont pas inclus la théorie complète du mélange. Asymétrique dans les équations de pitzer, tout en notant qu'elle est requise pour le gypse. Gueddari et al., ont trouvé une sursaturation du gypse dans le chott, et une présence probable de kaïnite. En effet, Perret (1982), lors de la simulation de l'évaporation des eaux du chott a trouvé que la kainite un produit de solubilité de 0,0051 (NAUMOV et al., 1971), qui est environ cent fois plus petits que celui donné par HARVIE et WEARE (1982), $K_{ps} = 0,64$, et qui n'est pas compatible avec la modélisation de la phase aqueuse (HACINI, 2006)

10.5. Chott Merouane

Le chott Merouane est situé au Nord Est du Sahara septentrional, il est considéré comme la plus basse altitude du Nord de l'Afrique (40m au dessous du niveau de la mer. Ce chott est classé parmi les zones humides, d'importance internationales, avec une superficie de l'ordre de 333.700ha (HACINI, 2006).

L'évolution des eaux du chott durant leur cycle géochimique est représentée par l'apparition d'une séquence des minéraux évaporitiques. La séquence débute par l'apparition de la calcite, puis le gypse pour arriver à l'halite, la blendeite, l'epsomite et termine enfin par la précipitation des minéraux magnésiens tels que la bischofite, vu l'importance de la quantité de chlorures. Passant par quelques minéraux évaporitiques qui ne sont pas stables, il se transforme d'un minéral à l'autre suivant les conditions climatiques qui règnent au cours de l'évolution géochimique des eaux du chott Merouane (HACINI, 2006).

Chapitre III : méthodologie et moyen utilisé

1. Documentation des études antérieure de la région

Les études antérieures sur la région d'El-Menia sont rares, la région est caractérisée par une réserve d'eaux proche de la surface, un peu salé et une eau profonde très douce connue par l'eau d'El-Goléa. Le secteur d'étude connue par certains chercheurs tel que Fabre, Busson, et Dubost.

2. Utilisation cartographique

L'utilisation des cartes depuis des milliers d'années comme une manière de partage des informations. Les formations portées par une carte sous forme d'un format graphique, sont les résultats des travaux des personnes, sur un ou plusieurs domaines assemblés dans une seule carte par des principes et relations entres ses formations.

Pour savoir une idée sur une région donnée, il faut chercher la carte de situation géographique de ce lieu pour permettre l'accès facile à ce point, l'utilisation des différentes cartes d'une région nous permet de savoir les conclusions des travaux faites au paravent dans ce milieu.

Dans notre étude du lac d'El-Menia on a plusieurs cartes faites sur la région, la carte topographique (1/200.000), la carte géologique de l'Algérie (Busson 1970)

3. Visite sur terrain

La réalisation d'un sujet de suivi de cycle géochimique demande une visite sur terrain pour savoir les accès et les obstacles naturels qui empêchent une bonne collecte des données et la mise en place d'une idée générale sur le site.

La visite sur site nous a permet de détermine les point des sources d'eaux et les limites du lac, et la réalisation des coupes géologiques sur terrain.

4. Choix de points de prélèvement

Dans une étude, le choix de méthode et matériel utilisée est très important pour avoir des bonnes résultats. La salinité et la nature des sebkhas influent sur la méthode d'échantillonnage, ces méthodes se différent selon :

- La nature des échantillons (sol, sel, eaux...etc.)
- les stations des échantillonnage (amont, aval, centre, ...etc.)

- les temps d'échantillonnages (heure, date, saison....etc.)
- la masse des prélèvement et nombre

Pour réaliser ce mémoire, on a choisi des méthodes et des protocoles qui permettent de satisfaire l'objectif scientifique de notre travail.

La situation et la forme du lac ont influencé sur le choix des points des prélèvements. Les points choisie pour faire les prélèvements correspond à :

- La source des eaux (alimentation) au lac supérieur (douce)
- La station d'observation au niveau du lac supérieur (douce)
- L'amont, aval, et milieu du lac inférieur (salé)

5. Méthode des prélèvements des échantillons

Les échantillons d'eaux sont portés par des bouteilles en plastique (polyéthylène), d'un volume de 1,5 litre. Ces bouteilles doit être rincer par l'eau distillée, en premier fois, et les eaux du lac sur place pour évite toute contamination (figure. 03). Après le prélèvement, les échantillons sont mis à l'abri de lumière et la température élevée.

L'échantillonnage des sols a été fait par une tarière de deux mètres de profondeur, le prélèvement de chaque couche est mis en sac ferme et sec, après la description.

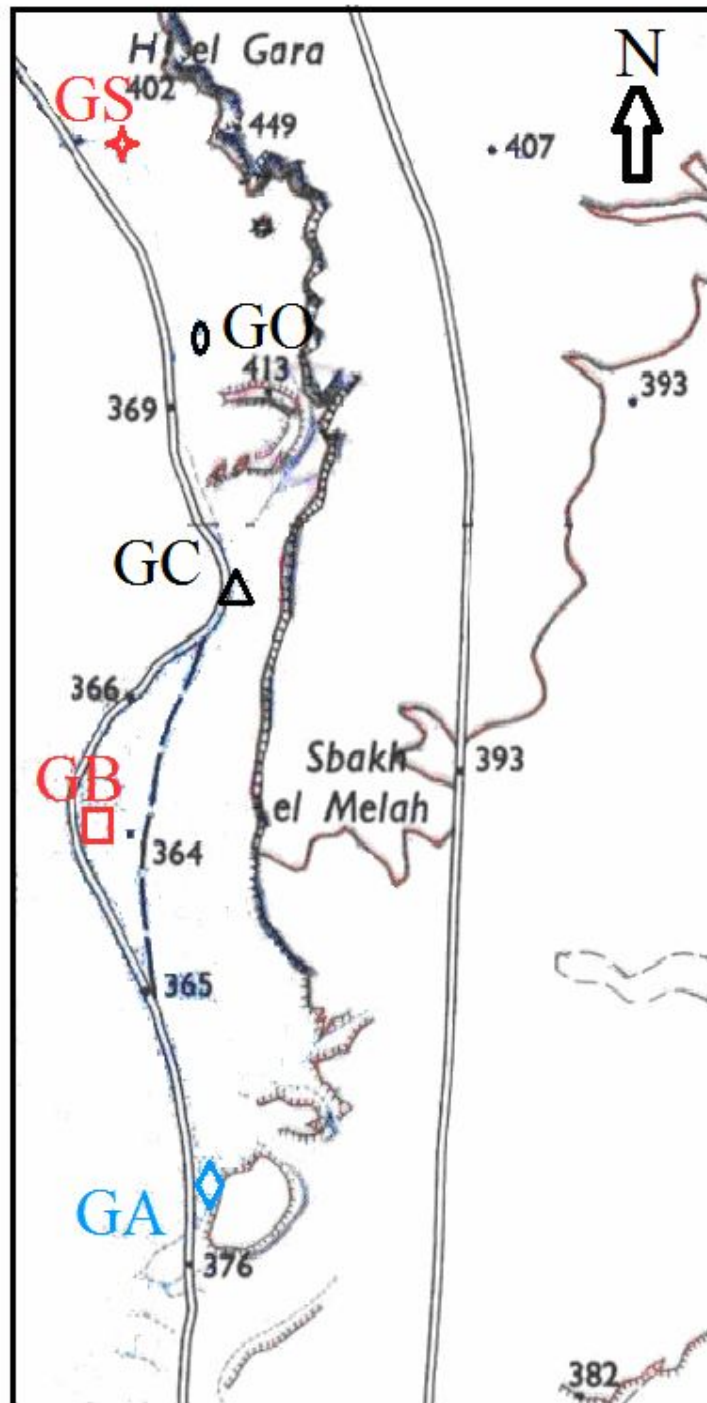


Figure.15. Carte des points de prélèvement des échantillons

6. L'analyse in situ

6.1. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des

sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélange éventuels, etc. en outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques et du point de vue industriel pour les calculs d'échange thermique. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profonde (Rodier, 1996).

La température a été mesurée au même moment et au même endroit que pour les prélèvements d'eau à l'aide d'un thermomètre en respectant les précautions décrites par Rodier (1996).

6.2. PH

Le pH est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène hydronium (H⁺) ou d'ions hydroxyde (OH⁻) contenus dans la substance.

La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. Le pH-mètre est un voltmètre un peu particulier qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée en raison de la forte résistance présentée par l'électrode de mesure.

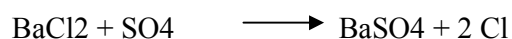
Les mesures sont effectuées à l'aide d'un pH-mètre muni d'une électrode (calomel-verre).

7. Analyse des eaux

Les échantillons des saumures qui présentent une forte concentration, il faut qu'il subisse une dilution une fois ou plusieurs, jusqu'à une concentration qui permet de mesurer. Pour cela on fait prendre un volume V1 (10 ml), de l'échantillon et on ajoute un volume V2 (90ml) de l'eau désilée dans un pilulier, cela donne une solution diluer 1/10. Cette opération reprise jusqu'à l'obtenir une solution convenable pour les mesures.

7.1. Sulfate

Les ions des sulfates sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués granulométriquement. (Rodier, 1996). Le principe est basé sur l'équation de précipitation suivante:



L'utilisation d'un spectrophotomètre d'absorption moléculaire pour doser les sulfates, avec des réactifs suivant :

- Solution mère de sulfate à 1 g/l à partir de NaSO_4 .
- Acide chlorhydrique
- Ethanol
- Chlorure de sodium
- Glycérol - Solution de chlorure de baryum

La méthode suivie pour le dosage est le suivant :

Prendre 20ml d'eau à analyser puis compléter à 100ml distillée

Ajouter 5 ml de la solution stabilisante

Ajouter 2 ml de chlorure de baryum

Agiter énergiquement pendant 1 min

Passer au spectrophotomètre $\lambda = 420 \text{ nm}$. (Rodier, 1996).

7.2. Les chlorures

Les chlorures, en présence du thiocyanate de potassium (KCSN), Nitrate d'Argent (AgNO_3), et de l'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide (HNO_3), un complexe coloré orange.

Réactif

- Solution de thiocyanate de potassium (KCSN)
- Solution d'alun ferrique
- Solution nitrate d'argent (AgNO_3)
- Solution acide nitrique (HNO_3). (Rodier, 1996).

7.3. Bicarbonate

L'analyse des bicarbonate faite par l'analyse volumétrique dans un milieu acide (titrage arrière) avec l'hydroxyde de sodium en présence du l'indicateur méthyle orange.

Le mode opératoire est :

Pipeter 100 ml d'aliquote dans un bécher de 600 ml , en ajout 50 ml de 1 N solution de HCl, faire bouillir pendant 10 minutes, refroidir à 20°C le transfère quantitativement au ballon volumétrique du 500 ml. Faire dilué avec l'eau distillée jusqu'à la marque puis agiter.

Filtrer peu plus de 100 ml à travers P.F pliée et fin, négliger les premières parties de filtrat.

Dans une érlenmeyer conique de 250 ml. Ajouter 3 gouttes de solution indicatrice M.O. titrer avec 1 N solution hydroxyde de sodium jusqu'à changement de couleur de rouge au jaune, noter le volume V. (Rodier, 1996).

$$NaCO_3(g/l) = \frac{(50 - 5V) \times 53}{V(aliquot) \times 10}$$

7.4. Calcium

Le calcium est mesuré par la méthode colorimétrique (Rodier, 1996). Ce dosage se fait en présence de Murexide. L'E.D.T.A Réagit tout d'abord avec les ions des calciums libres, puis avec les ions calciums combiné avec d'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur violet. Les réactifs utilisés sont :

- Solution d'E.D.T.A N/50.
- Solution d'hydroxyde de sodium (Na OH) 2N.
- Murexide.

Les étapes dosage de calcium sont :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- ajoute 2 ml de NaOH à 2 N, puis du Murexide (quelque goûtes),
- titrer avec l'E.D.T.A. jusqu'au virage (Violet), puis notée (V1).

Donc le calcium est calculé suivant la formule :

$$Ca (mg/l) = V1 \times 0,4008 \times 1000/50$$

7.5. Magnésium, sodium et potassium

Cette méthode repose sur le fait que tout corps chimique est capable d'absorber les radiations (photons) qu'il émet lui-même dans certaines conditions. Cette absorption se produit au niveau de l'atome et chaque atome ne peut absorber qu'un seul photon.

L'échantillon est vaporisé dans un nébulisateur puis aspiré dans la flamme. La flamme induit une désolvation puis une vaporisation des particules solide produites. Le gaz se dissocie et on obtient des atomes à l'état fondamental.

La source de photons est généralement une lampe à cathode creuse contenant le même élément (métal) que celui à analyser. A la sortie de la source, le faisceau traverse un premier collimateur ce qui permet d'obtenir un faisceau incident parallèle et bien calibré (pour la longueur d'onde ou l'on veut travailler). Chaque élément a une longueur d'onde caractéristique exemple :

- Le Sodium à une longueur d'onde est 589 nm
- Le Potassium à une longueur d'onde est 766.5 nm
- Le Magnésium à une longueur d'onde est 285.2 nm.

7.6. La demande biochimique en oxygène (DBO5)

La DBO est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante va entraîner une consommation d'O₂) au cours des procédés d'autoépuration.

La DBO est mesurée au bout de 5 jours (DBO₅), à 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

8. Analyse des sols

8.1. Calcaire

On détermine le calcaire total par calcimétrie volumétrique à l'aide d'un calcimètre de Bernard, on utilise la propriété du carbonate de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide, en eau et gaz carbonique, ce dernier recueilli, dans un tube gradué en millilitres (Aubert, 1978).

Les résultats obtenus sous forme des pourcentages de CaCO₃ dans le sol.

8.2. Gypse

On détermine le gypse selon la méthode proposée par (Coutinet, 1965), qui basé sur le principe de dosage des ion SO₄²⁻ après une attaque aux d'ammonium et le chlorure de baryum.

8.3. Chlorure

On fait agir en milieu neutre, pH sensiblement égal à 6.5 à 7, une solution à titrer du nitrate d'argent sur une prise d'essai en présence de K_2CrO_4 . La solution est de couleur jaune, quand on verse la solution de $AgNO_3$, le chlore précipite à l'état de $AgCl$ (blanc). Lorsque tout le chlore sera transformé en $AgCl$, la couleur rouge brique persiste due à la formation de CrO_4Ag_2 .

8.4. Insoluble

Dans un bêcher de 250 ml, délayer la prise d'essai avec 10 ml d'eau froide

Ajouter en remuant constamment 25 ml d'un mélange à volume égale d'acide chlorhydrique ($d=1.19$) et d'eau

Chauffer rapidement pendant quelques instants jusqu'à ce que le liquide soit juste jaune clair

Filtrer immédiatement la liqueur chaude sur filtre sans cendres

Laver à l'eau bouillante jusqu'à disparition des ions Cl

Réserver le filtrat qui servira à la détermination de la teneur des ions SO_4

Mettre le filtre et son contenu dans une capsule de 250 ml et recouvrir avec 100ml de solution Na_2CO_3 à 5%

Faire bouillir pendant un quart d'heure puis filtrer

Laver à l'eau bouillante puis avec HCl à $\frac{1}{2}$, enfin avec de l'eau distillée

Calciner et peser.

9. Granulométrie

La granulométrie correspond au désir d'introduire l'idée de nombre dans l'étude des tailles. Elle n'est que des applications de la méthode statistique (Vaton, 1967). Les méthodes d'analyse granulométrique varient avec la grosseur des particules à mesurer et la nature d'étude, pour avoir une idée sur la granulométrie de notre site on a utilisé une série des tamis 2, 1, 0.4, 0.2, 0.1, 0.08 mm.

10. Minéralogie par DRX

Avec la diffraction des rayons X, on peut déterminer l'arrangement atomique d'une structure cristallisée, l'identification et la quantification des phases présentes dans les échantillons solides, cette méthode consiste à récupérer le signal diffracté par les

structures des phases cristallines des échantillons analyser. La technique basée sur le fait qu'un réseau cristallin est constitué d'un empilement de familles de plans réticulaires parallèles et équidistance. Le faisceau de rayons X incident est réfléchi partiellement par le premier plan. Le faisceau non réfléchi frappe le deuxième plan pour être à nouveau réfléchi. Ces diffractions des faisceaux dépend de l'intensité totale de l'onde diffusée soit très important vérifier le loi de Bragg :

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

d est la distance des plans réticulaires.

λ la longueur d'onde.

n l'ordre de la réflexion

La détermination de l'angle de Bragg (θ) et l'intensité des ondes réfléchies permettent l'identification de la structure atomique du motif de minéral analysé.

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Géologie locale

Les terrains secondaires caractérisant la région d'El-Menia, un plateau raviné au nord, et plane au sud, ces couches d'âge secondaire ont été marquées par des petites falaises (figure. 12), occupées par des oueds tels que Oued Seggueur et Oued Sbaa.

La région d'El-Menia est formée des ensembles suivants :

- la vallée de Oued Seggueur occupée par des Oasis.
- l'Erg Occidental à l'Ouest, des dunes sableuses d'origine éolienne.
- le Plateau de Tademaït au Sud et à l'Est, en majorité calcaire

Le sol est de nature gréseuse, entouré par des lits alluvionnaires de nature argileuse à l'Est, et au sud on a un plateau de type calcaire et à l'ouest une immense dune formant l'Erg occidental.

Plusieurs coupes géologiques ont été réalisées sur terrain, les affleurements sont commencés par les argiles rouges (dit argile de El-Goléa) avec des évaporites, marquant un milieu lagunaire peu profond, puis une transgression de la mer Cénomane.

1.1. Albien

Sous les terrains qu'on rapporte au Cénomane, il y a, au Sahara, bien visible sur le bord sud de Tademaït, des formations que l'on rapporte le plus souvent à l'Albien. Pour les géologues, cet Albien serait nettement continental et, dans certains de ses formations gréseuses il témoignerait d'un climat sec.

1.2. Cénomane

Les géologues qui ont étudié les régions sahariennes rapprochent au Cénomane la masse des argiles qui constituent le talus des gours d'El Goléa. La dalle supérieure du calcaire épais, qui forme les gours, contient des fossiles marins ; elle serait d'âge Cénomane supérieur.

Au Sud-Est de Hassi Gara on a une structure tabulaire d'âge Cénomane d'un dépôt lagunaire, l'étude de cette série montre à la base une couche argileuse gypseuse verdâtre altérée suivie par une alternance des sédiments calcaires fins à des argiles plus importantes, environ 10 m, où se trouve un niveau d'argile gypseuse claire fibreuse d'épaisseur 50 cm, après on a une couche argileuse plus épaisse de 5 m environ, un banc

calcaire se dépose, puis une argile rougeâtre versicolore alterne moins important que la couche calcaire au niveau 20 m de la base (figure. 16), une surface ferrugineuse détermine un arrêt de sédimentation, ensuite vers le sommet on constate que l'argile devient sous forme de joint de quelque centimètre, le calcaire devient massif plus en plus, en fin une dalle calcaire ferrugineuse en présences des terriers. Cette dalle est marquée par une quantité importante des fossiles tel que Bivalve, Oursin, Ammonite, Gastéropode, et Pecten qui signifie un age cénomanien

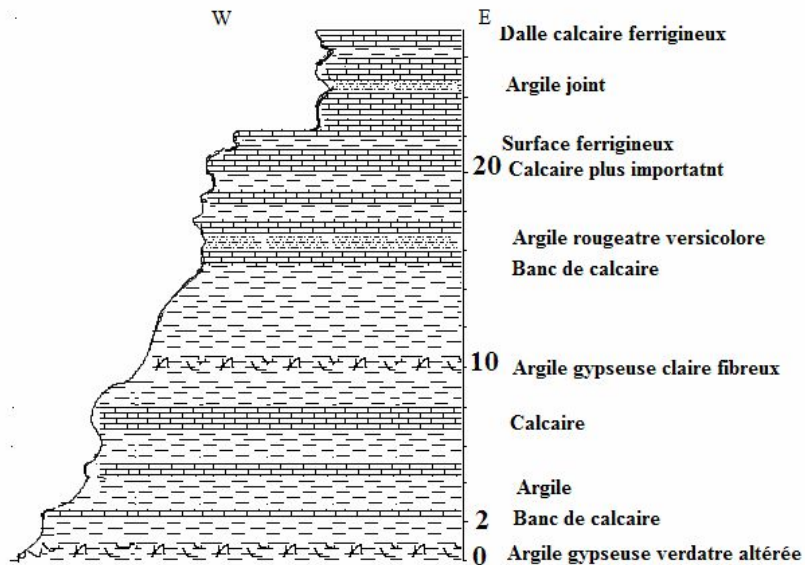


Figure. 16. Coupe schématique du Cénomanien inférieur au Sud-Est du lac d'El-Menia

1.3. Le Cénomanien supérieur

Le Cénomanien supérieur se trouve vers 10 Km au Sud-Est de Hassi Gara, ce site est marqué par une dalle calcaire à la base correspond au sommet de la coupe du Cénomanien (figure.17), cette dalle est caractérisé par un niveau d'eau faible liée à la présence des terriers, aussi une sédimentation rapide indiqué par les terriers vide et les Gastéropodes. Vers le haut, on trouve des Céphalopodes, échinodermes, Huîtres, et des filons gypseux, après on a un massif calcaire lumachellique, riche en fossile Ammonites (*Neolopites* fossile caractéristique de Cénomanien supérieur). Au sommet on trouve une dalle de calcaire à pecten (figure.17).

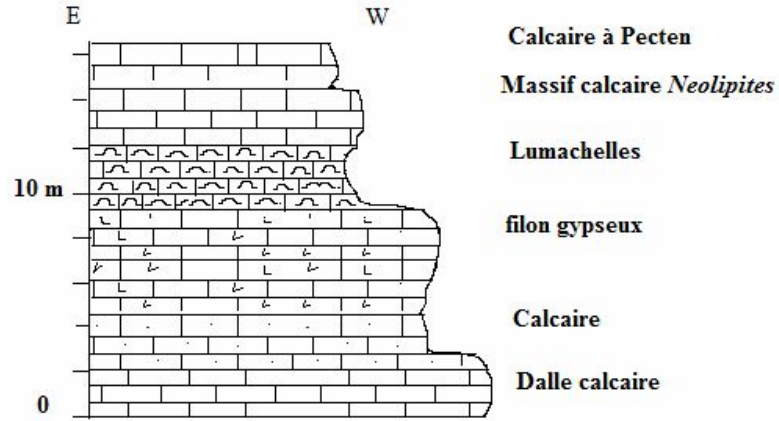


Figure. 17. Coupe schématique du Cénomanién supérieur au Sud-Est d’El-Menia

1.4. Le Turonien

le Turonien de El-menia affleure au nord vers 18Km d’un endroit nommé Ghor Ouargla, cette formation se constitue de calcaire massif et calcaire marneux de 10 m, à la base, suivie par un banc calcaire bioturbé d’un mètre marqué par une surface durcie, ensuite on a un banc de calcaire marneux d’ordre 15 m, terminé par une dalle calcaire qui marque la limite du turonien inférieur au turonien supérieur, après on a une couche de calcaire marneux où on trouve quelque rudiste, au sommet et une dalle calcaire sombre (figure.18).

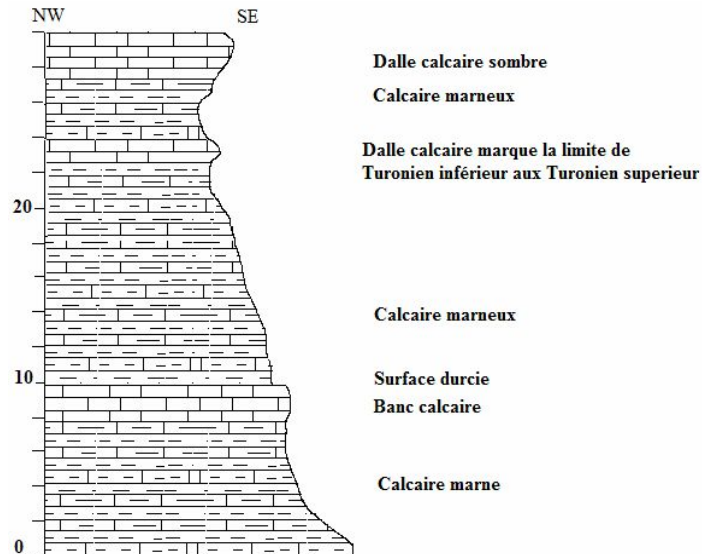


Figure. 18. Coupe schématique du Turonien au Nord d’El-Menia (Ghor Ouargla)

2. Géologie du fond du lac

2.1. Caractéristique morphologique et granulométrique des sols de lac d'EL-Menia

Le sol se constitue essentiellement par l'alternance des horizons très réguliers de sable, de limon et d'argile. La profondeur devient de plus en plus importante du nord vers le sud de lac, au niveau de lac supérieur qui est présenté par la coupe OG, on trouve une nappe phréatique presque au surface seulement 60-70 cm, et de nature fine de type argileux vert. Dans le lac inférieur la nappe phréatique devient de plus en plus profonde 100 cm au début de lac, et 180 cm à la fin de lac, de type sableuse (figure. 23).

La description des coupes est la suivante :

a- Coupe OG

La coupe OG se trouve à la proximité sud du lac supérieur, à côté de point d'observation installé par les services des forêts, pour la suivie des oiseaux qui vivent sur le lac et aussi les immigrants.

La nappe phréatique est proche de la surface (70 à 80 cm), le sol de lac supérieur très fin donne des horizons de hauteur de 20cm sableux au haut et argileux à la base (figure 19).

- OG1 sable fraîche (20cm)
- OG2 sable fin (20 cm)
- OG3 limon sableux mouille (20cm)
- OG4 limon vert sombre à argile (20cm)

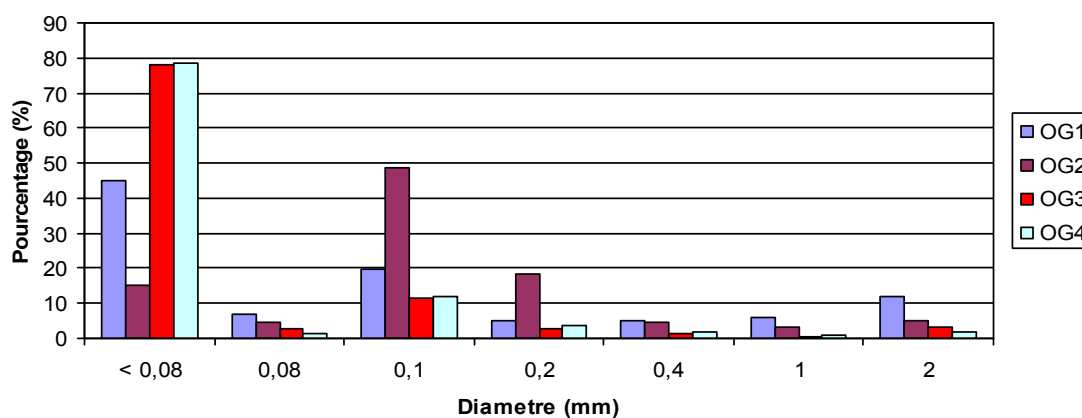


Figure. 19. Histogramme des diamètres des horizons de la coupe OG

b. Coupe CG

La coupe CG se trouve au début de lac inférieur (l'amont du lac), la nature lithologique est proche de la coupe OG, les particules fines se trouvent à la surface, et la profondeur agrandit. Les horizons sont très régulier et donnent des particules fines au sommet et commence de grandir vers la profondeur (figure.20)

- CG1 limon à argile à quelque débris de couleur clair (20cm)
- CG2 sable fin (40 cm)
- CG3 sable fin blanchâtre (20cm)

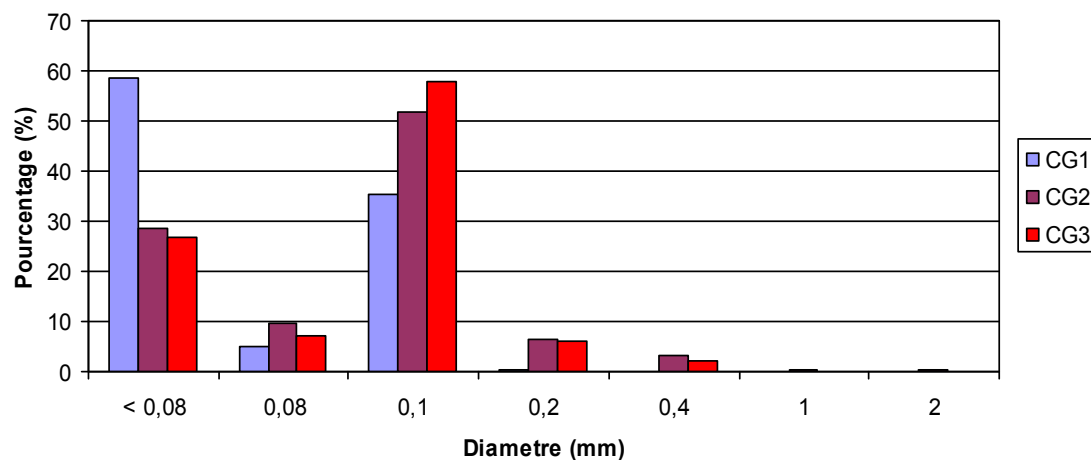


Figure. 20. Histogramme des diamètres des horizons de la coupe CG

c. Coupe BG

La coupe BG se trouve au milieu de lac inférieur (centre du lac), la lithologie est comparable au point CG, la seule différence est l'hauteur qui commence à élever vers le sud, et les horizons sont de plus en plus contiennent des sédiments grossiers. Le limon se trouve à la surface et les sables à la base (figure 21).

- BG1 limon à argile (40cm)
- BG2 sable fin (40cm)
- BG3 sable moyen couleur grise (20 cm)

L'endroit de cette coupe permet de voir une sédimentation fin contrôlée par une épaisse tranche d'eaux, les sédiments fins sont installés lentement. L'épaisseur reflète la stabilité et la continuité de régime d'eaux

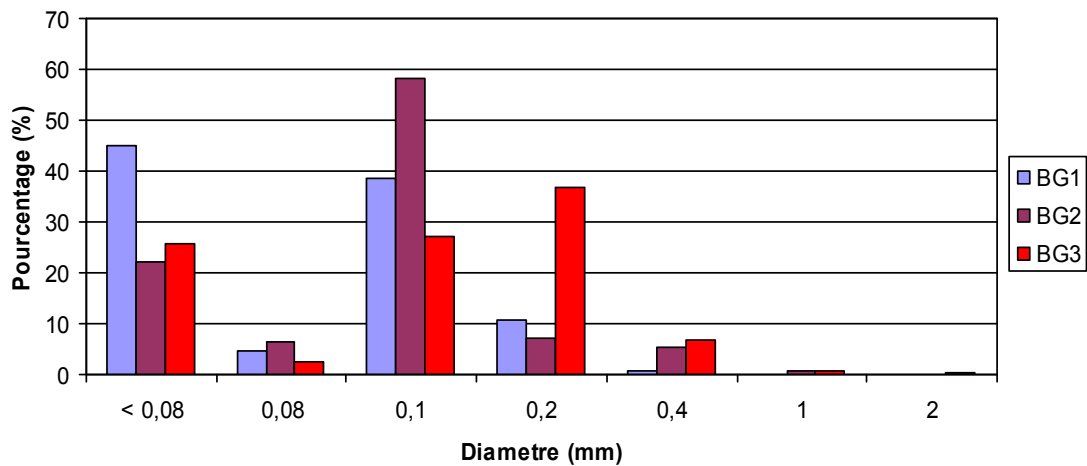


Figure. 21. Histogramme des diamètres des horizons de la coupe BG

d. Coupe AG

La coupe AG se trouve en aval de lac inférieur, la nappe phréatique dans cet endroit de lac se trouve à 1,80m (figure, 22). L'influence des sables (figure 46), d'origine sableuse installée à coté ouest de lac et qui est transporté par deux agents, le premier est le vent, le deuxième est les eaux.

- AG1 sable fin un peu sec gris (40 cm)
- AG2 sable fin (20 cm)
- AG3 sable moyen 20(cm)
- AG4 sable fin gris bleu (20cm)
- AG5 sable moyen (20cm)
- AG6 sable et limon mouille (20cm)
- AG7 sable moyen (20cm)

Les changements de milieu sec/humide, favorise des différents couches sur un faible profondeur, l'importance de ces couches à créer la descente de la nappe phréatique à environ 1.80 cm

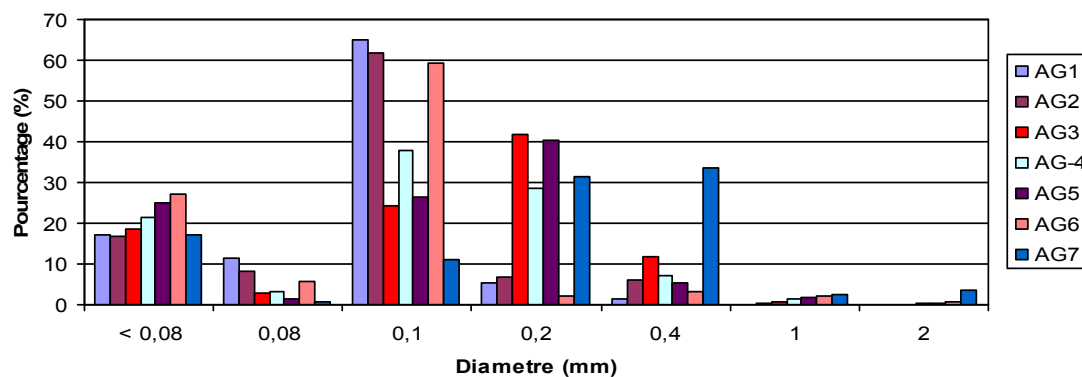


Figure. 22. Histogramme des diamètres des horizons de la coupe AG

La comparaison entre les différentes coupes réalisées à travers le lac montre une surface fin à argile limoneuse au nord de quelque centimètre, au centre une profondeur très importante de sédiments fin liée à l'épaisseur de la lame d'eau qui influe sur la nature des dépôts, au sud l'influence des matériaux grossiers liée à l'absence des eaux au cours de l'année sauf au période des hauts eaux au mois d'hiver à partir du mois de mars. L'eau commence à régresser et arrêt de sédimentation. Vers la profondeur le changement de taille et de nature des sédiments est fonction de la situation topographique et milieu (Figure. 23)

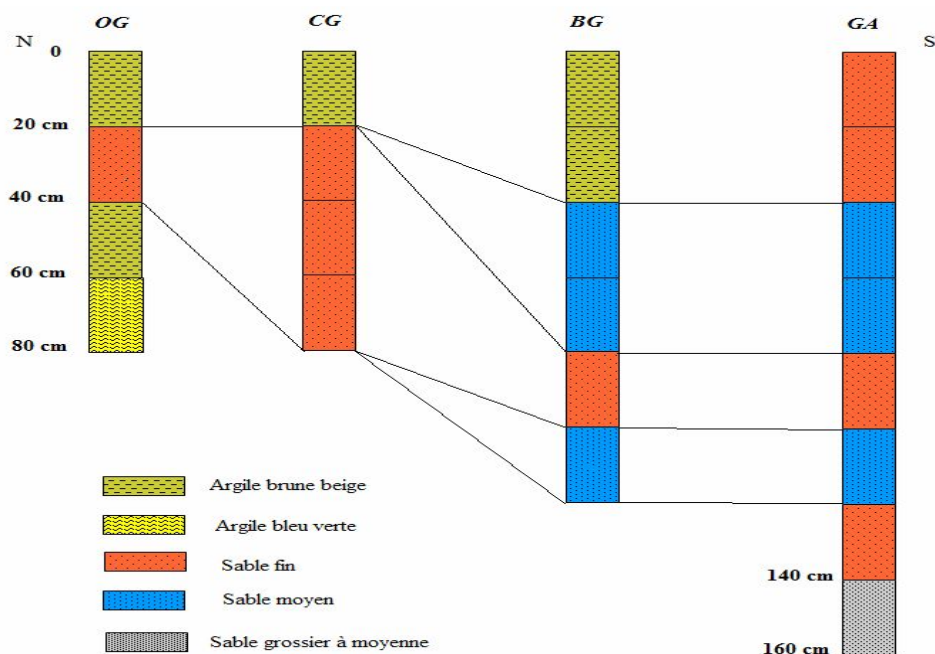


Figure 23. Coupe des sols à travers le lac d'EL-Menia

2.2. Caractères physico chimiques des sols

L'analyse des échantillons de sol du lac montre l'importance des insolubles présente par les sables ou le quartz peut être d'origine de l'erg occidental. Les autres paramètres reflètent les caractéristiques minéralogiques de la nappe.

2.2.1. pH de sol

Le pH est en majorité supérieur de 8 qui donne un sol alcalin (figure.24).

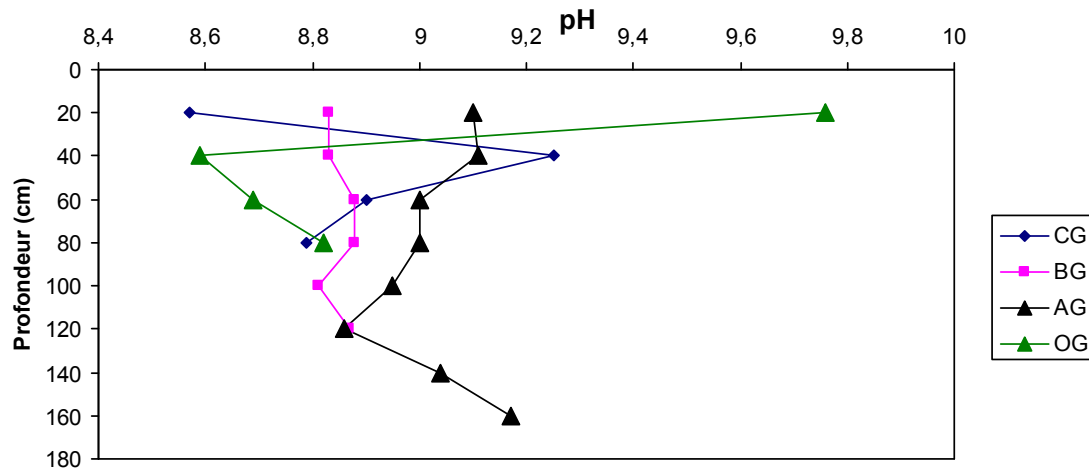


Figure. 24. Profile de pH de sol de lac d'EL-Menia

2.2.2. Les insolubles

Les résultats des analyses donnent une idée sur la nature de sol, au nord de lac les sols contiennent des minéraux solubles, au contraire vers le sud le quartz domine et absence des autres minéraux liée à la surface ouverte qui empêche le développement de sol (figure. 25).

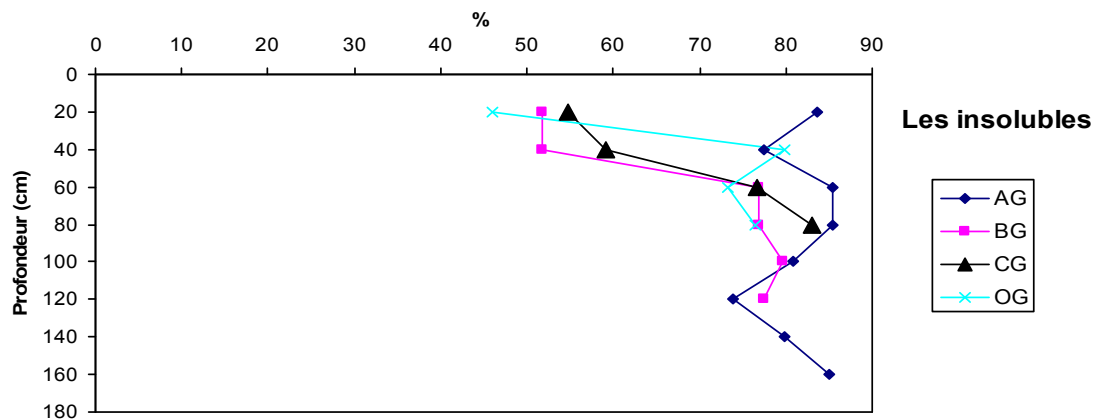


Figure 25. Profile des insolubles dans le sol de lac d'El-Menia

2.2.3. Les chlorures

Les points BC et CG donnent des valeurs significatifs de chlore plus que 6 % à la surface (figure 26), et commence de diminuer vers la profondeur jusqu'à inférieure de 1%. Les points CG et AG ne contiennent que 2 % de chlorure, l'importance de cet élément liée à la présence de Halite. La signification des pourcentages des chlorures donne des milieux favorables pour la précipitation de l'halite et les conditions qui favorisent sont formation. Cette augmentation des teneurs des chlorures dans la partie superficiels est contrôlée par l'évaporation.

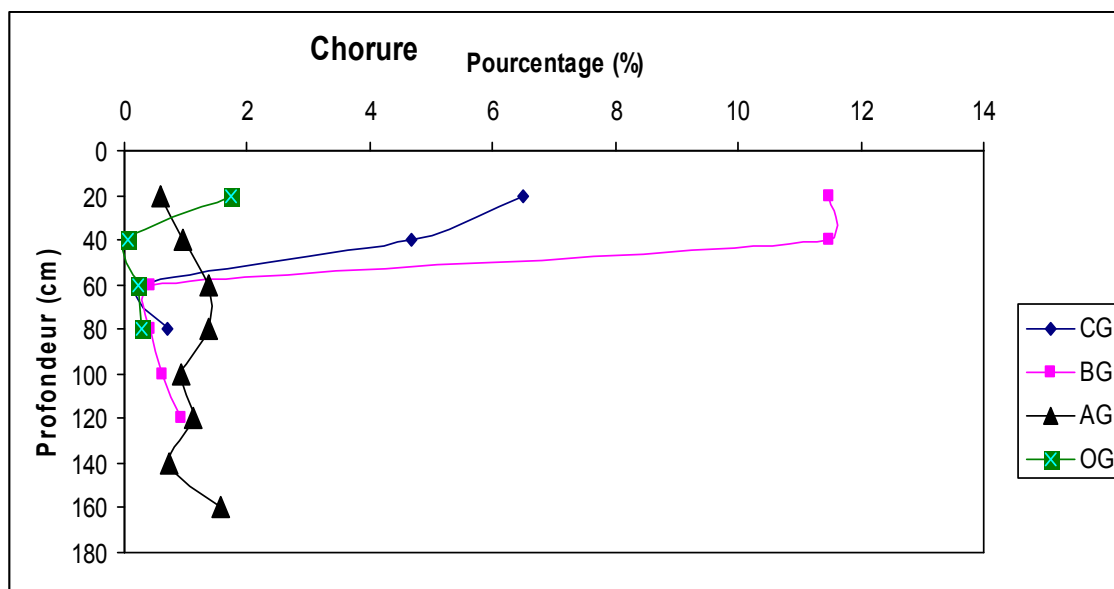
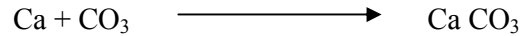


Figure. 26. Profile de chlorure dans le sol de lac d'EL-Menia

2.2.4. Calcaire total

Le calcaire total se forme par des ions de calcium et le bicarbonate, selon l'équation suivante :



Le calcaire se trouve à des pourcentages moins importants entre 5 et 20%, il augmente à la profondeur de 1 m, et diminue au dessous de ce niveau. Le point AG marque une faible quantité des calcaires liée à la nature des dépôts sableux (figure. 27).

La concentration du calcaire dans les parties (40 cm – 100 cm) est contrôlé par la solubilité des calcaires très faible et se concentre en bas.

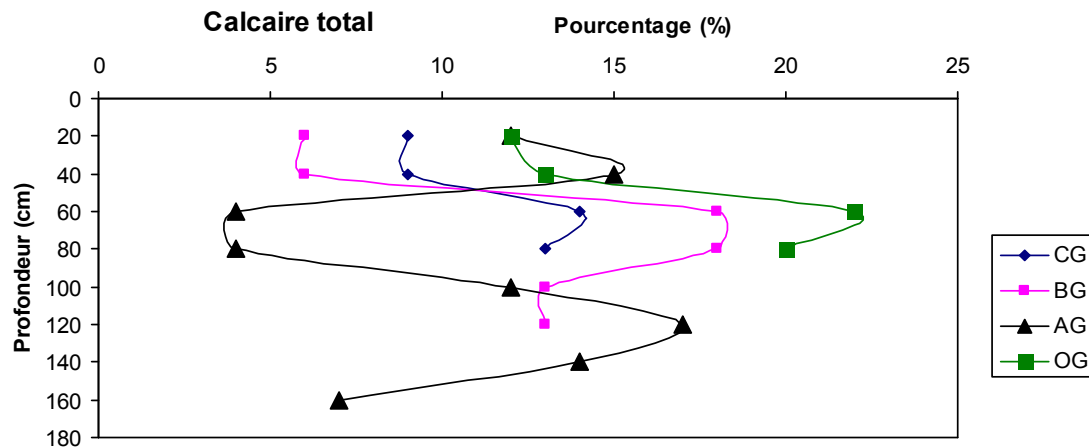
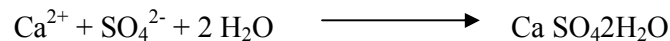


Figure.27. Profil de calcaire total de sol de lac d'EL-Menia

2.2.5. Le gypse

La formation de gypse dépend des éléments chimiques qui entre dans sa formation sous des conditions favorable selon l'équation suivant :



D'après l'équation on a trois éléments essentiel contrôlent la mise en place de gypse, le calcium, le sulfate et l'eau, l'absence ou l'insuffisance de l'un de ces élément empêche une précipitation de ce minéral.

La figure 28 donne la distribution des gypses à travers le lac, la surface de sol contient de gypse de nord vers le sud de lac et de surface à la profondeur. Elle est d'ordre 30% au niveau de lac supérieur et de 10 à 15 aux points CG et BG à la surface, ces valeurs vont diminuer vers la profondeur.

La concentration des gypses dans la partie (40cm – 80 cm) est contrôlé par la faible solubilité des gypses qui permet eu gypse de se concentrer en bas.

D'après ces résultats on a un ordre de concentration des minéraux de haut vers le bas comme suivant :

- chlorure
- gypse
- calcaire

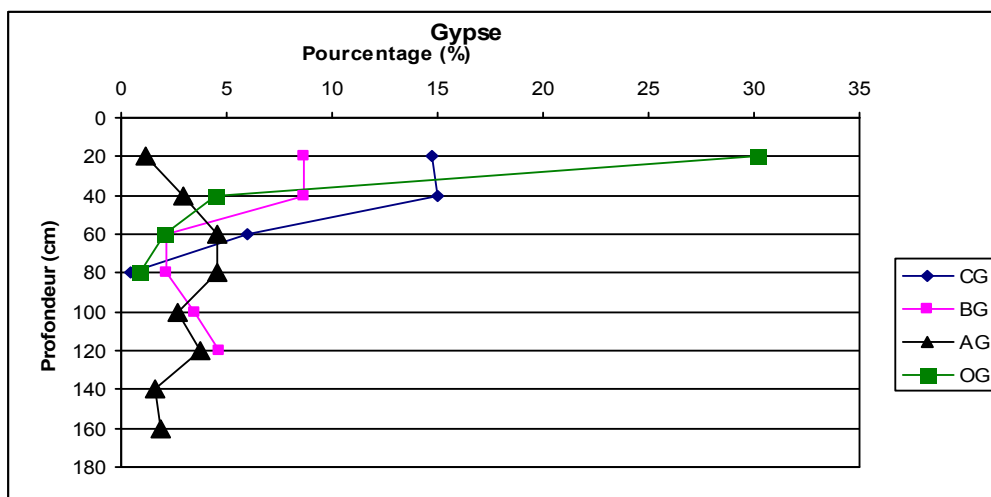


Figure.28. Profile de gypse de sol de lac d'EL-Menia

3. Evaluation du volume du lac

Lac d'El-Menia est compose de deux lac supérieur et inférieur, le premier est une lac douce d'une forme ellipse. L'estimation de volume est très complexe, on a seulement calculé la surface de lac d'après une photo faite par google earth. La méthode des carrées permet de estimer la surface des deux lacs supérieur et inférieur (tableau. 12).

Tableau 12 : Estimation de volumes de lac d'El-Menia

Type de lac	Superficie (ha)	Volume (m3)
Lac supérieur	250	1250000
Lac inférieur	1400	4200000
total	1650	5450000

4. Géochimie des eaux du lac

Une analyse d'une eau générale représente quelque erreur, liée à la certains facteurs naturelle ou humaine, l'incertitude est toujours existe avec une valeur acceptable d'erreur. Pour les analyses de notre lac, les résultats sont malheureusement pas vrais au totalement, car le trajet entre le lac et laboratoire d'analyse est très longue, les erreurs humaine sont aussi introduit dans l'incertitude des résultats, mais en peut dire que ces résultats proche de la réalité par la comparaison entres différents analyses réalisés auparavant.

4..1. Paramètres physique

4.1.1. La température

La température de l'eau est un élément très important dans le système géochimique de lac, l'élévation de température provoque une évaporation qui déduire une concentration des éléments chimique jusqu'à le point de saturation qui donne naissance à des minéraux évaporitiques. Le climat désertique influe sur la température de L'eau du lac, la température varie de jour au nuit, permet de ralentir le taux d'évaporations, aux cour de période hivernal, la température de l'eau variée de 14 - 19° C, qui permet au lac de s'installe sur les Bordure de lac. Elle commence l'augmentation à partir du mois de mars de 20 - 31° C (figure.29), qui mène une diminution de surface de lac.

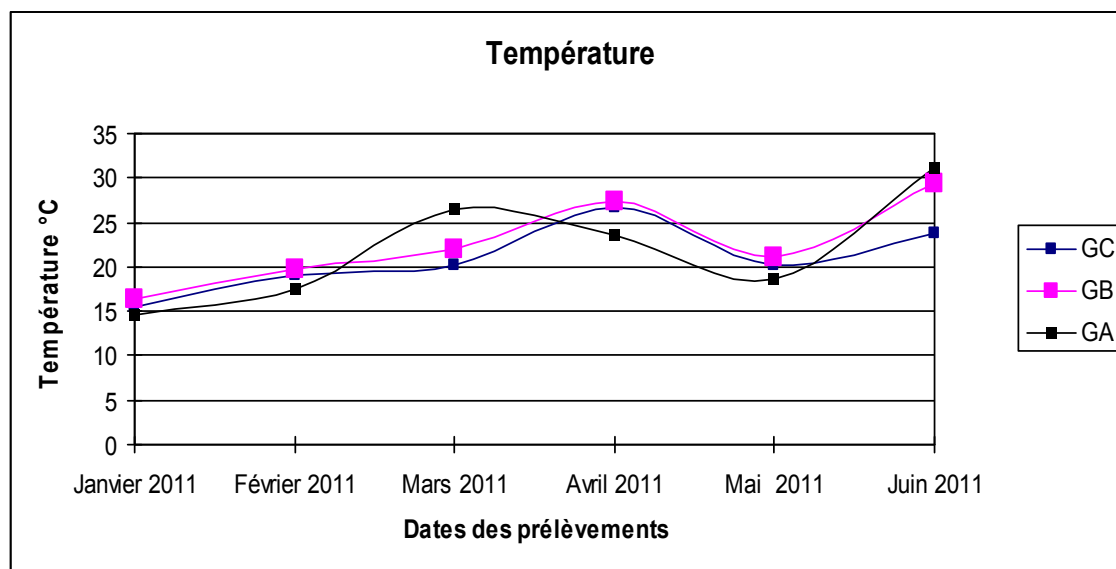


Figure.29. Evolution de température des eaux de lac d'El-Menia

4.1.2. Le pH

Le pH est l'un des paramètres primordiaux de déterminer la nature des minéraux évaporitiques, les mesures de pH donnent au majorité des valeurs entre 6 et 7 (figure 30; tableau 13), qui donne un pH neutre. Les valeurs de pH liée à des natures des apports et la nature des sols de lac,

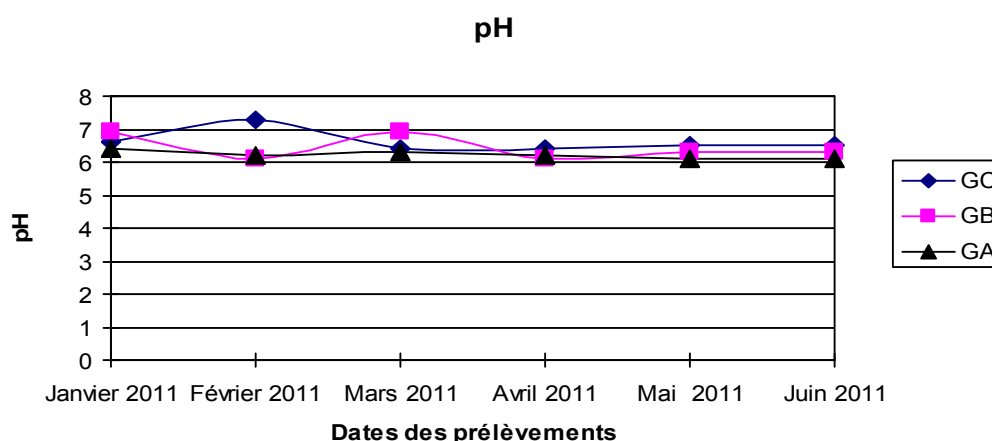


Figure. 30. Evolution de pH des eaux de lac d'El-Menia

4.1.3. La salinité

La concentration totale des éléments chimiques dans une eau détermine la salinité. L'importance des éléments majeurs devant les éléments en trace, on peut considérer que la salinité est celle des concentrations des éléments majeurs. Le lac d'El-Menia est caractérisé par une salinité importante, des concentrations sont entre 26 g/l et 79 g/l (figure. 31). Ces valeurs montrent l'importance des chlorures, sodium et sulfates. La variation spatiale montre une salinité au centre de lac qui résulte de l'accumulation des éléments chimiques dans cette partie. Les autres points sont moins importants, au cours de l'évolution géochimique la salinité subit une variation très importante, au mois de Février l'aval et l'amont de lac subit une diminution remarquable liée à la dilution des eaux, le centre subit une augmentation liée à la dissolution des minéraux alentour du lac. À partir d'Avril la salinité subit une élévation très importante liée à la précipitation des minéraux et l'évaporation intense qui commence ce mois (Avril), la diminution de la salinité au point GC6 (au amont du lac inférieur) où se trouvent deux apports d'eaux qui favorise une diminution des concentrations des éléments chimiques dans ce endroit.

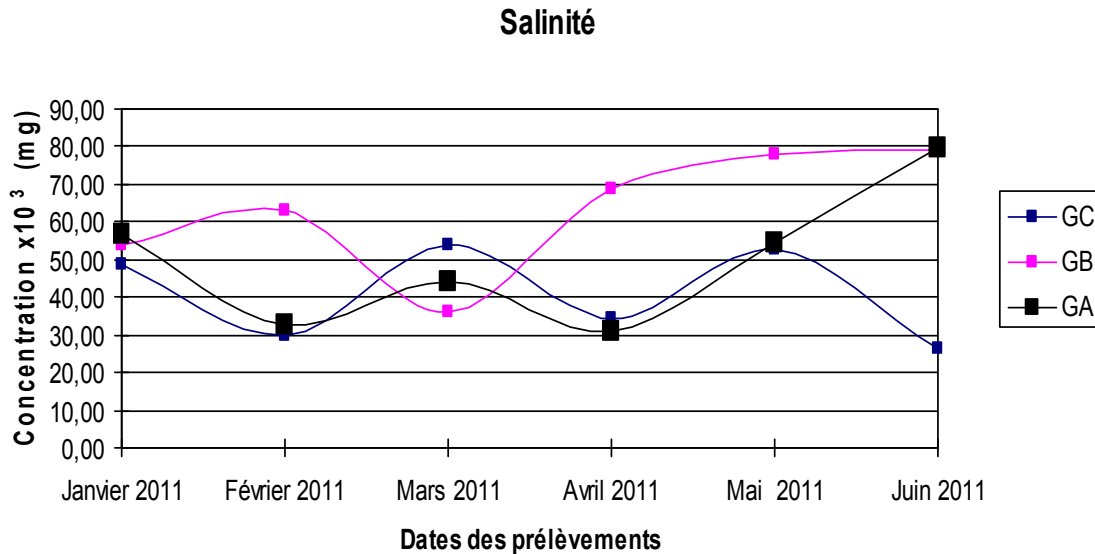


Figure. 31. Evolution de salinité du lac de janvier au Juin 2011

4.2. Comportements des éléments majeurs

4.2.1. Bicarbonates (HCO_3)

Les bicarbonates sont présents par des valeurs variées entre 175 mg/l et 976 mg/l (figure 32), au début de cycle les concentrations sont faibles liés à la dilution des eaux de lac par l'effet de l'absence des évaporations et les importances des eaux entrant dans le lac. La comparaison entre les trois points d'échantillonnage donne une idée sur l'évolution des bicarbonates, au point GC pas de variation important au cour de six mois, au contraire aux point GA et GB ont remarque une changement au cour de temps, au mois Février une augmentations de concentration des bicarbonates par la dissolution des dépôt au voisinage de lac. A partir de mois Avril, les bicarbonates subit une augmentation très important, l'évaporation joue un rôle clés dans ce cas (mois du Mai). A la fin on a une légèrement chute de concentration liée à la précipitation des minéraux carbonaté a la fin de cycle géochimique.

Les autres lacs en Algérie se contiennent des valeurs faibles en bicarbonates, entre 4 et 18 mmol/Kg au chott Merouane (HACINI, 2006).

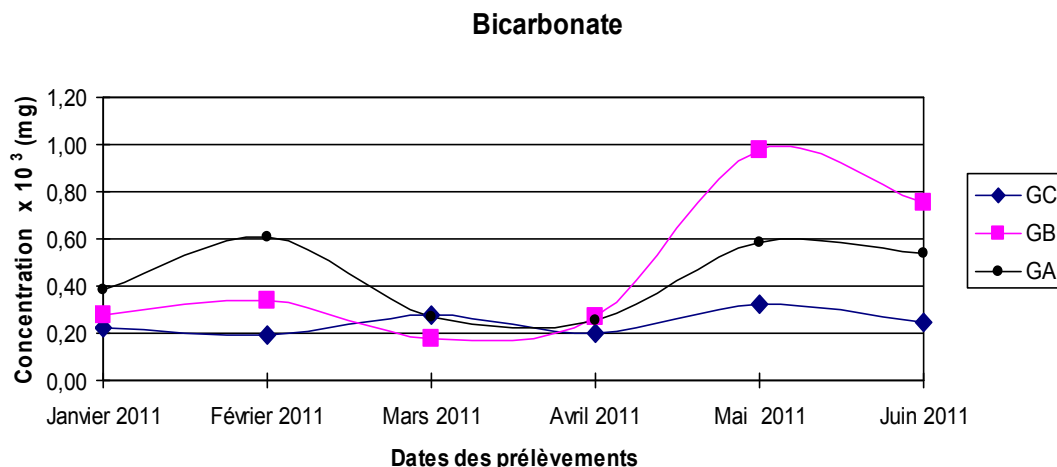


Figure. 32. variation de bicarbonate du lac de Janvier au Juin 2011

4.2.2. Sodium (Na^+)

La formation de Halite est liée à la concentration de sodium, cet élément se présente dans le lac par des valeurs très importants comparables à des eaux de mer. La comparaison entre les différentes concentrations de cet élément pendant la période d'observation montre une évolution très important. Au début de cycle les valeurs de sodium varie de 16 à 18 g/l (figure 33; tableau 13), ces valeurs subit une fort diminution à partir de cinquième semaine de 18g/l à 10g/l, puis commence une fluctuation différente d'une point à une autre. En fin de cycle en remarque deux pole distinct, au point GC une diminution important jusqu'à 9 g/l, et aux point GB et GA une valeur important 28 g/l.

Dans le chott Merouane le sodium varie entre 48053 et 97209 ppm (HACINI, 2006).

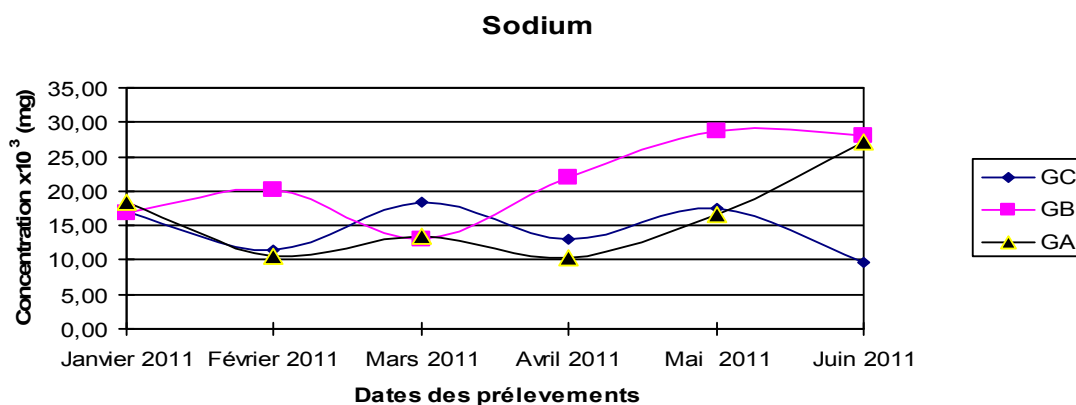


Figure.33. Evolution de sodium au lac du Janvier au Juin 2011

4.2.3. Chlorure (Cl⁻)

Les chlorures sont des éléments les plus important dans le lac, on les trouve à des grand valeurs au mois juin plus que 42 g/l au aval de lac (figure 34; tableaux 13), l'amont de lac est caractérisé par des valeurs moyennes à 14g/l à 29 g/l.

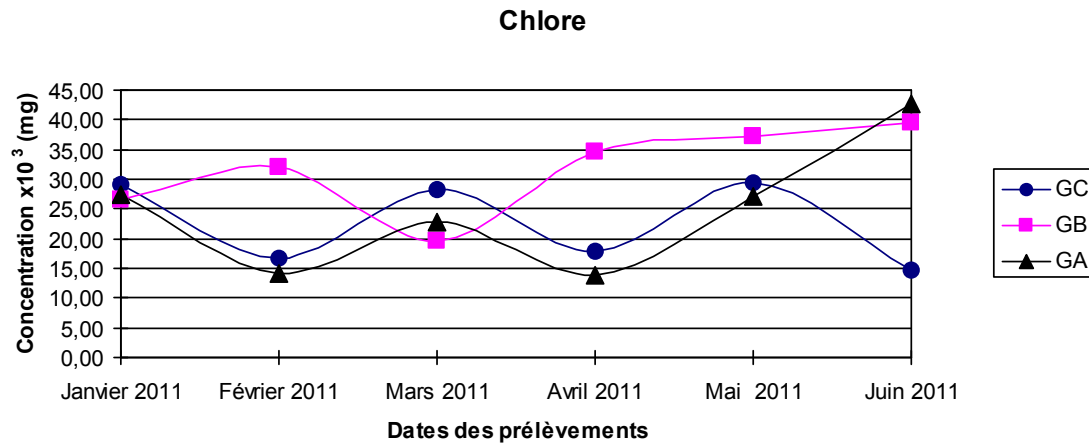


Figure.34. Evolution de chlore du lac de Janvier au Juin 2011

La répartition des échantillons dans la figure 27, montre une évolution régulière des chlorures dans le centre de lac, explique par la dissolution des minéraux alentour de lac au début et l'importance des évaporation à partir de mois de mars. Les autres points sont marqués par des variations aux cours de cycle géochimique, au point GA les concentrations des chlorures subit une diminution au période hivernal signifier une dilution importante, à partir de mois d'avril, elle devient plus en plus important détermine une élévation d'évaporation malgré les précipitations des minéraux jusqu'à la fin de cycle. Au point GC, les concentrations sont irrégulière à cause des phénomène dissolution / précipitation, cette variation control é aussi par la source qui favorise une dilution des eaux du lac.

Par comparaison avec d'autre lacs, les concentrations en chlore sont moins important dans le lac d'El-Menia, les chlorures dans chott Merouane selon HACINI (2006) variée entre 169196 à 10595 ppm.

La figure 35 destine trois comportement des chlorures dans le lac d'El-Menia

- au point GC une concentration moyen et variation régulier liée à l'alimentation par plusieurs source comme la nappe

- au point GB une concentration continue liée à l'évaporation
- au point GA une concentration de chlore a partir de mois avril, contrôlé par l'évaporation,

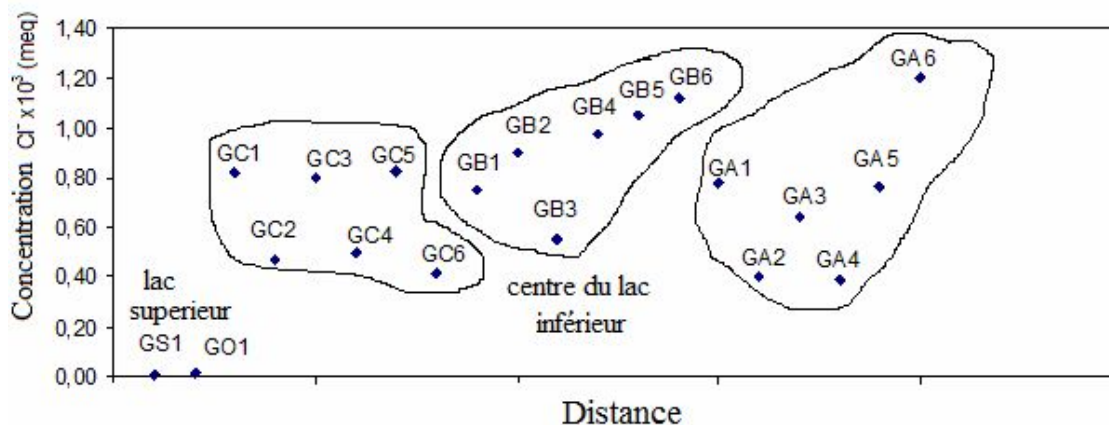


Figure.35. Evolution des chlorures dans le lac d'EL-Menia (Janvier à Juin 2011)

La corrélation entre les chlorures et les ions de sodium est positive (figure. 36), traduit une augmentation des concentrations (par dissolution) aux cours de l'évolution de cycle géochimique, et la précipitation juste à la fin de cycle.

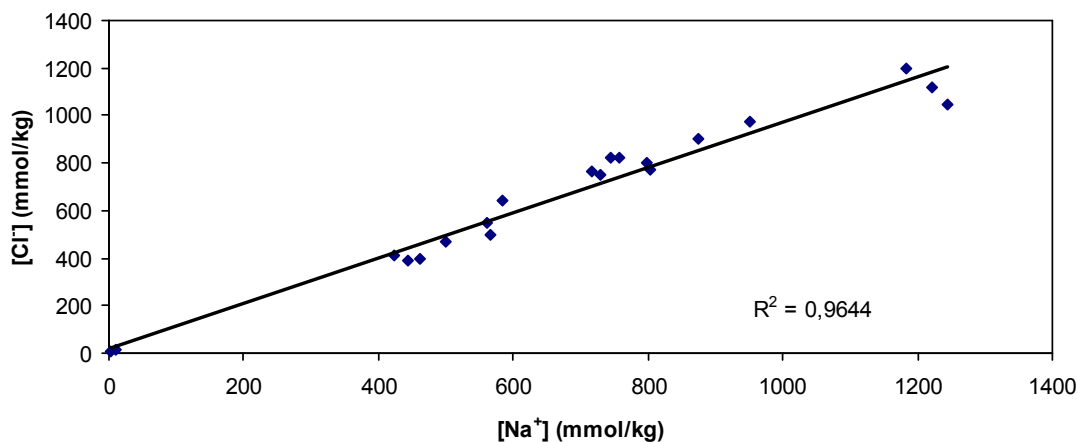


Figure 36. Corrélation entre la concentration de sodium et chlore

4.2.4. Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium entre dans la formation des minéraux évaporitiques. Dans le lac, les concentrations de cet élément subit une évolution très nette dans tous les points de lac. Les plus important sont enregistrés à la fin de cycle 1g/l (figure, 37). Les plus faibles concentrations se trouve au début de cycle géochimique.

Les précipitations des minéraux magnésiens (dolomite) se localisent à la fin de cycle (mois du Juin) au point GC et GA.

Par comparaison a chott Merouane, selon HACINI (2006) le magnésium variée entre 200 et 1800 mmol/kg.

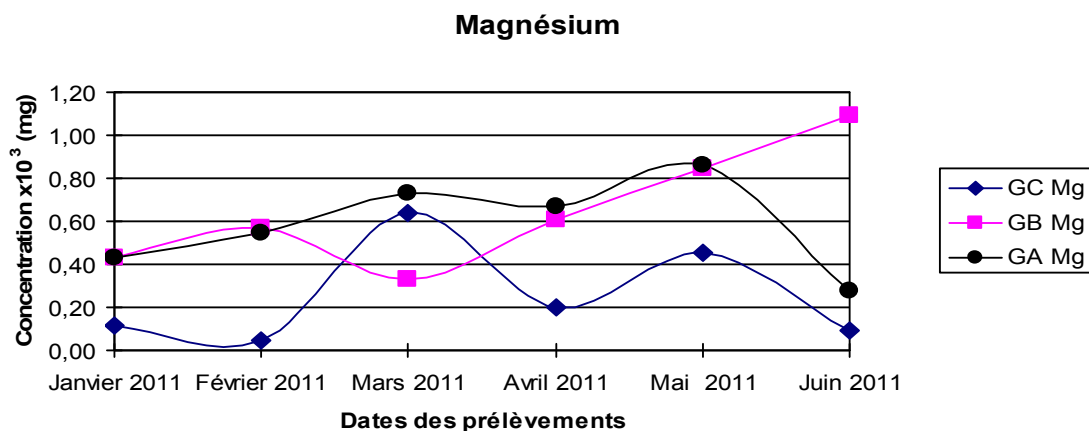


Figure. 37. Evolution de magnésium au lac du Janvier au Juin 2011

La corrélation entre l'évolution des concentration des ions de calcium et les ions de magnésium est positive (figure 38), l'évolution de ces ions est identique et ce précipite au même temps pour formé des dolomite à la fin de cycle géochimique.

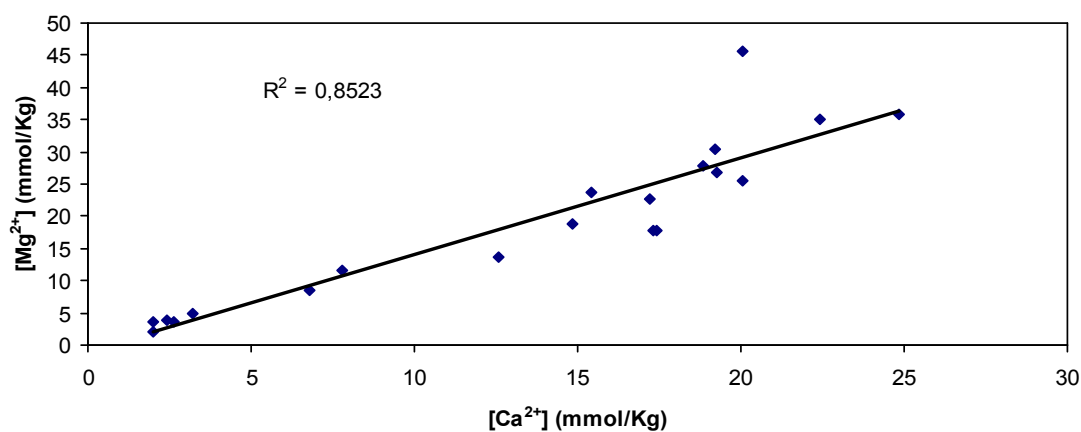


Figure. 38. Corrélation entre la concentration de calcium et magnésium

4.2.5. Sulfates (SO_4^{-2})

Les sulfates se trouve dans le lac avec des teneurs très grand et subit une variations de mois à l'autre, la concentration le plus faible est enregistré mois Février inférieur de 1 g/l

(figure 39), et le maximum au mois d'avril au milieu de lac d'ordre 10 g/l. Les variations des concentrations des sulfates sont en général moins importantes durant le cycle géochimique. L'augmentation des valeurs des sulfates au début de cycle liée à la dissolution des minéraux évaporitiques au alentour de lac et aussi par les apport des eaux usées, les diminution des concentrations détermine les phases de précipitation des dolomites.

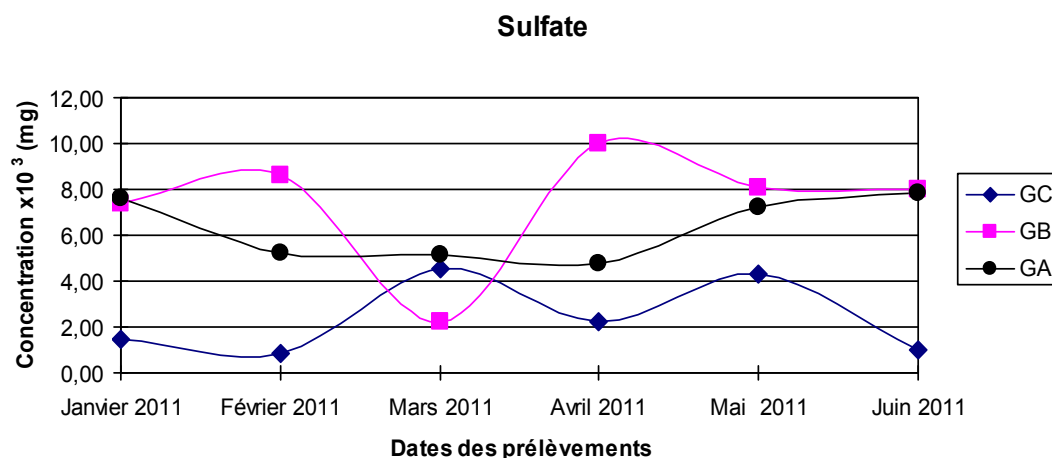


Figure. 39. Evolution de sulfate aux cours de période d'observation janvier au Juin 2011

4.2.6. Calcium (Ca^{+2})

Le calcium joue un rôle important dans la formation des calcaires, dans les milieux arides, on les trouve dans le lac d'El-Menia avec des valeurs d'ordre 600 mg/l à la moyenne. L'intervalle des concentrations de cet élément. On remarque une faible fluctuation de calcium au points GB et GA de 500 mg/l à 1000 mg/l (figure 40), et important fluctuation au point GC de 80 mg/l à 769 mg/l.

Au mois Mai la concentration en calcium est au maximum lié a l'évaporation ensuite on a une diminution de cette concentration à la fin cycle au mois du Juin, traduit la précipitation des minéraux carbonaté.

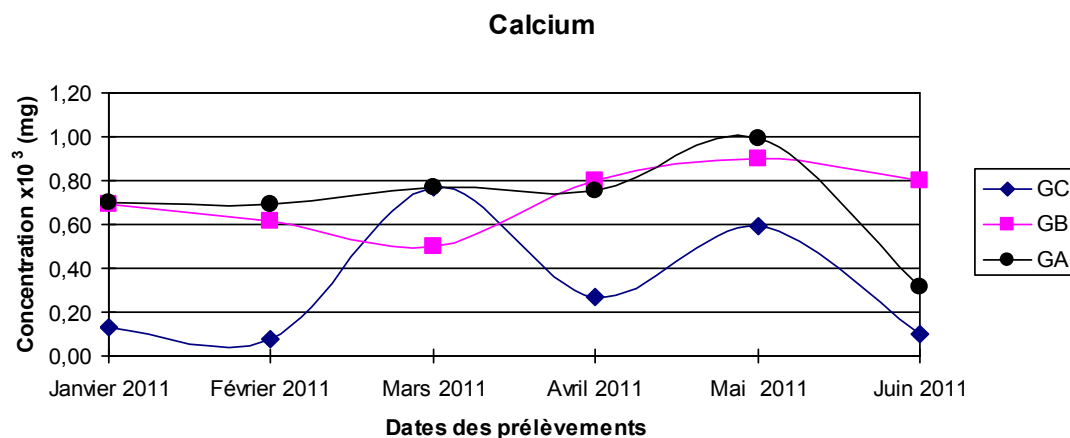


Figure. 40. Evolution de concentration de calcium du lac d'El-Menia au période d'observation Janvier au Juin 2011

4.2.7. Potassium (K^+)

Le potassium dans le lac se trouve avec des valeurs très important et une tendance de diminution aux cours de cycle géochimique. On remarque des valeurs grand au début de cycle 1625 mg/l (figure 41 ; tableaux 13), et une petit concentrations au mois février d'ordre 47 mg/l au point GC. A la fin de cycle des concentration sont léger ment constant lié à l'évaporation régulière.

L'évolution de potassium est très régulière car cet élément ne précipite pas facilement et reste dans le lac, au début de cycle on a des valeurs extrêmes, ensuite elle commence de diminue soit par l'effet de dilution, par formation des minéraux argileux ou précipitation des minéraux évaporitique potassique

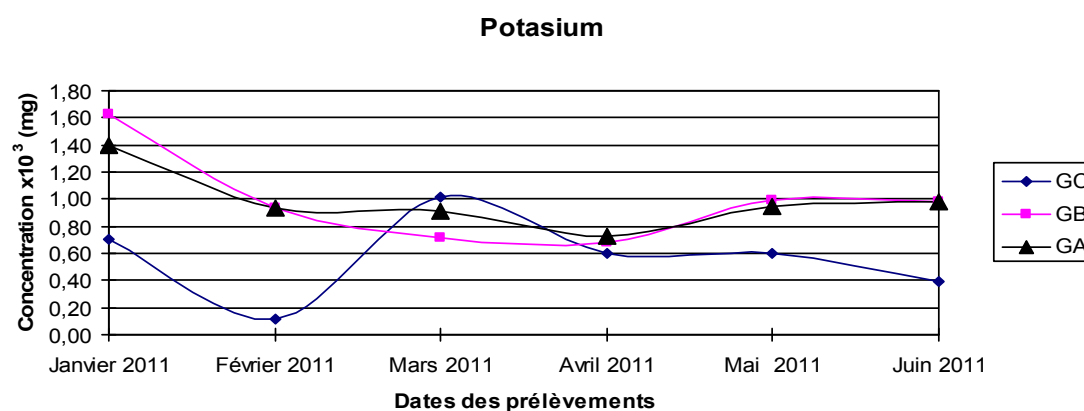
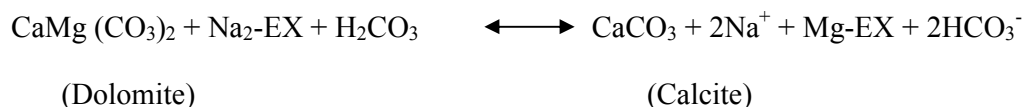


Figure. 41. Variation de concentration de Potassium du lac du Janvier au Juin 2011

5. Caractères des eaux du lac

5.1. L'échange ionique

Ce processus est connu souvent avec l'argile, se produit entre l'eau et les minéraux silicate, par la fixation des éléments alcalino-terreux (Ca^{2+} et Mg^{2+}) et la libération de (Na^+):



La charge négative de la surface des feuillets des minéraux aluminosilicate favorise l'échange de cations avec l'eau qui existe entre les feuillets interfoliaires ou les couches. Cet indice d'échange exprime par l'équation suivant :

$$\text{Log}(\text{Ca} + \text{Mg}) - 2 \text{Log Na}$$

$\text{IEB} < 0$ Ca échange contre le Na de terre

$\text{IEB} > 0$ Na de l'eau échange contre le Ca de terre

$\text{IEB} = 0$ pas de l'échange

Dans le lac d'El-Menia la majorité des échantillons pour IEB sont presque nulle qui signifie une absence de l'échange de base, mais on remarque que les deux échantillon de premier lac sont de valeur supérieur que 0 qui traduit une échange de base dans le lac supérieur implique l'existence des minéraux argileux dans le font de cette lac

5.2. L'origine de Calcium de lac d'El-Menia

Le rapport entre la somme des ions bicarbonates et les sulfates, et le calcium nous permet de déduire l'origine des ions de calcium. Le diagramme montre une origine carbonatée dans ce lac (figure.42). L'importance des dépôts carbonate alentour de lac d'El-Menia favorise une dissolution au période hivernal et précipitation à partir de mois avril.

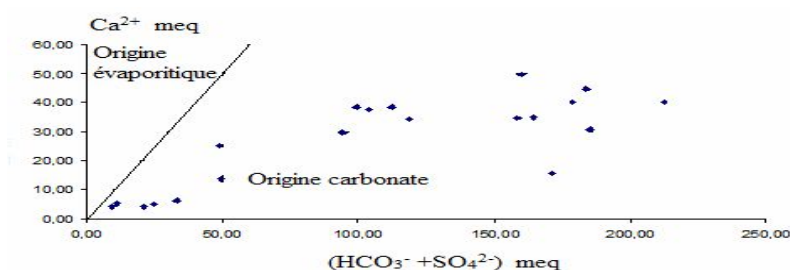


Figure. 42. Diagramme de l'origine de Calcium de lac d'El-Menia

5.3. Faciès chimique

La projection des différents points sur le diagramme ($\text{Mg}^{+2}/\text{Na}^+ : \text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$), permet de dire que les faciès géochimique du lac est de type chloruré sodique. La nature de source est un faciès sulfaté magnésien (figure 43).

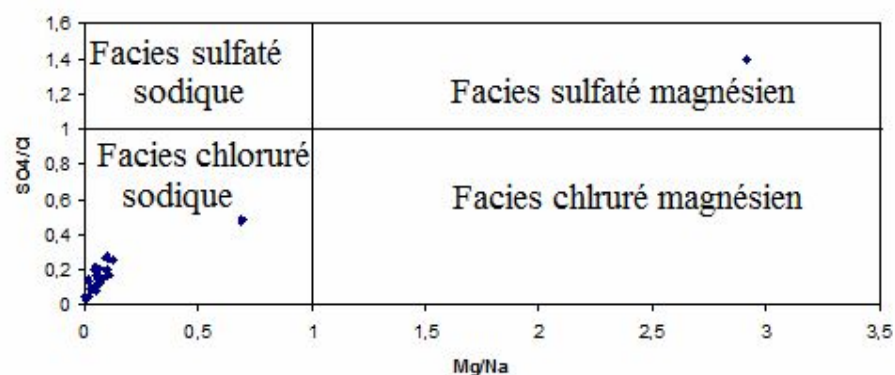


Figure. 43. Faciès géochimique de lac par les rapports $\text{Mg}^{+2}/\text{Na}^+ : \text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$ (Janvier à Juin 2011)

L'étude d'un faciès chimique est très importante pour déterminer la nature de cette eau, l'utilisation de logiciel de diagramme pour établir le diagramme de Piper qui permet de savoir le type d'eaux.

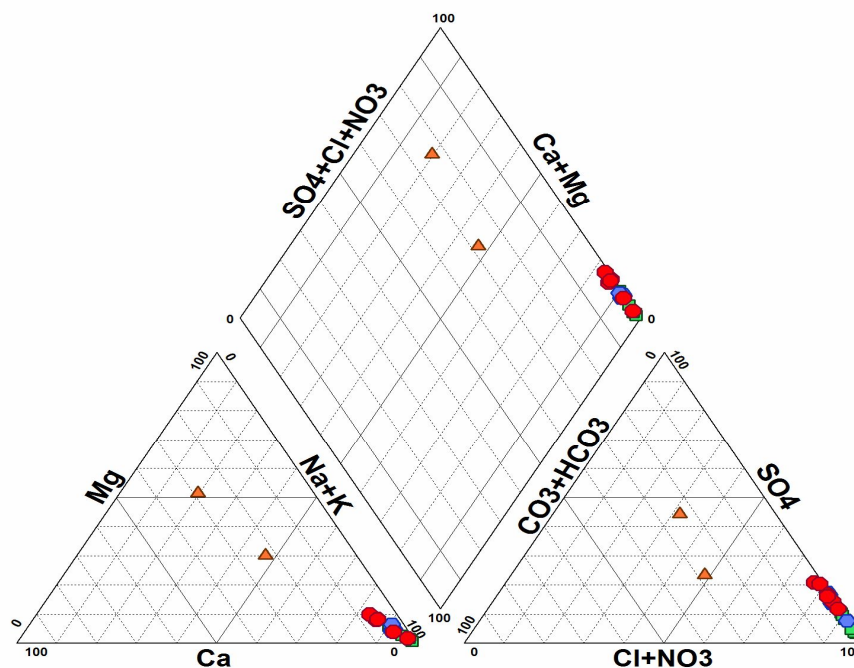


Figure.44. Diagramme de Piper des eaux de lac d'El-Menia

Dans le lac d'El-Menia, le faciès est Hyper chlorurée sodique (figure.44). Les chlorures sont dominants, plus que 50% dans la majorité des échantillons. On a le sodium qui présente plus que 30%. D'après le diagramme piper le chlore et sodium sont important liée à la dissolution des roches voisines et le taux d'évaporation qui permet de concentration de ces deux éléments.

Le diagramme des anions indique un pole chlorure sulfate, Liée à l'importance des chlorures et les sulfates. Les chlorure sont très abondants dépasse 75% (figure 45), cet élément est le résultat d'une phénomène dissolution au cour de période hivernal, et une précipitation de période chaude.

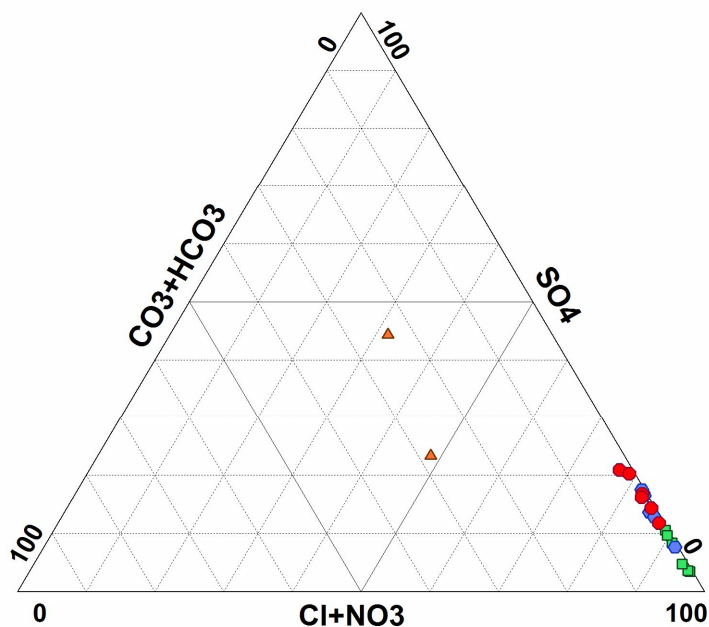


Figure. 45. Diagramme des anions des eaux du lac d'El-Menia

Le diagramme des cations montre une pole sodique potassique, les eaux de lac d'El-Menia présente des eaux contiennent des cations dominés par sodium et le potassium (figure, 46).

L'importance des sodiums et potassiums sont favorisé par la nature des roche carbonaté de la région et aussi des argile qui ce trouve au niveaux du lac supérieur à des profondeur faible 60cm. La figure 38 donne l'importance de ces éléments (plus que 80%).

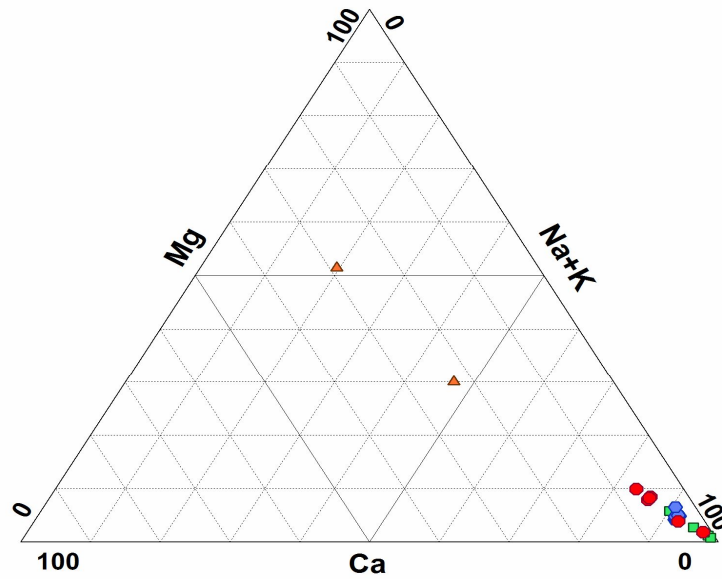


Figure 46. Diagramme des cations du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011)

5.4. Diagramme d'Eugster et Hardie

La répartition des eaux de lac de l'El-Menia dans le diagramme de Eugster et Hardie, est dans la classe II. La dominance des éléments de calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) devant les bicarbonate (HCO_3^-). Le gypse est le minéral convient à la classification des minéraux évaporitiques non marine proposé par Hardie (figure 47).

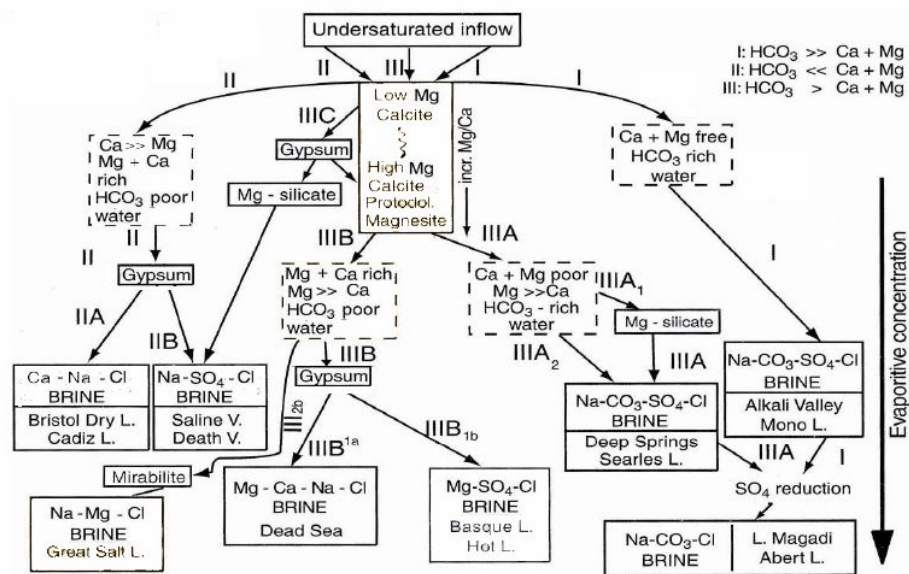


Figure. 47. Evolution des concentrations selon la concentration des HCO_3 , Mg et Ca (Hardie et Eugster. 1968)

6. Facteur de concentration Fc.

La salinité est la concentration des eaux par des éléments majeurs, par l'effet de l'évaporation qui engendre un ensemble des réactions entre ces éléments. L'un de ces concentrations est l'évolution des chlorures au cycle géochimique, certains auteurs utilise le chlore comme traceur chimique à cause de son caractère de conservation le plus longtemps. Il précipite à des forces ioniques très élevées.

$$\text{Log Fc} = [\text{Cl}_0^-]/[\text{Cl}^-]$$

$[\text{Cl}_0^-]$: concentration de chlore le plus faible

$[\text{Cl}^-]$: concentration de chlore

La comparaison entre l'évolution de la molalité de chaque élément majeur en fonction de la molalité de facteur de concentration (figure 48), donne une corrélation positive entre le chlore et le sodium. Les autres éléments ne réagissent pas totalement du même ordre, certains éléments augmentent et d'autres diminuent.

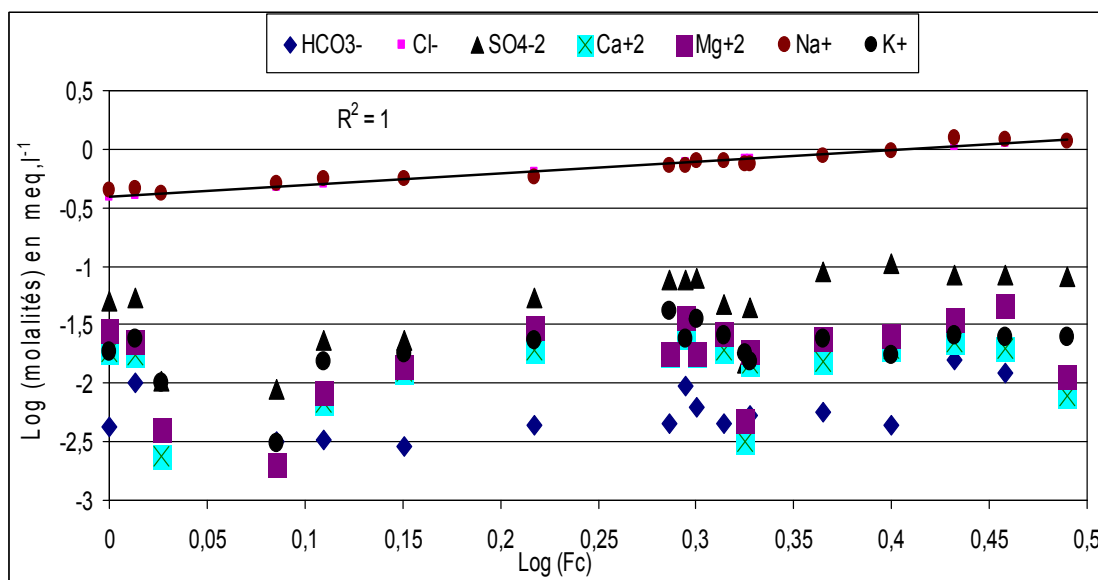


Figure. 48. Evolution de la molalité des éléments majeurs en fonction du facteur de concentration de lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011)

La relation entre facteur de concentration et l'indice de saturation des minéraux évaporitiques dans les eaux de lac estime que certains minéraux ont atteint ou proche de

saturation au début de la concentration, la précipitation de gypse commence à partir d'une valeur de $\log (Fc) = 0.3$.

Le dolomie et le calcite ne précipitent que à des valeur de $\log (Fc) = 0.45$, les autre minéraux marque une approche de point de saturation, sans précipitation total à cause de la dissolution qui empêche ces minéraux de sursaturé (figure 49).

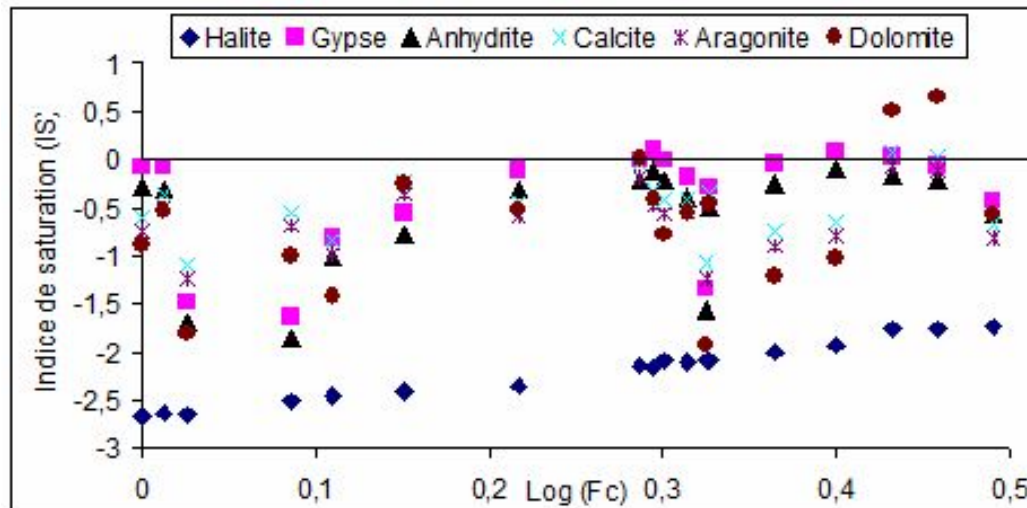


Figure 49. Evolution de l'indice de saturation des minéraux en fonction de facteur de concentration (Janvier à Juin 2011)

7. Demande biochimique en oxygène DBO5

La consommation naturelle d'oxygène par le phénomène d'oxydation, exprimé en g/l définit la demande biochimique en oxygène. Le calcul de ce paramètre donne une idée sur la pollution de cette masse d'eaux.

Les mesure faite en deux compagne de mois Avril et Mai présente une augmentation de pollution de lac 2 fois supérieur au point GA, et 7 foi au point GB (centre de lac) et reste constant au point GC (source des eaux usée). L'explication des résultats est :

- la source est permanente, et stable (figure. 50)
- le centre de lac au mois Avril est plus dilue que mois Mai (augmentation de température)
- au point GA ou la partie éloigné de source le taux de pollution est important à cause de l'accumulation et l'évaporation qui engendre une concentration et accélère la consommation ou l'oxydation des oxygène.

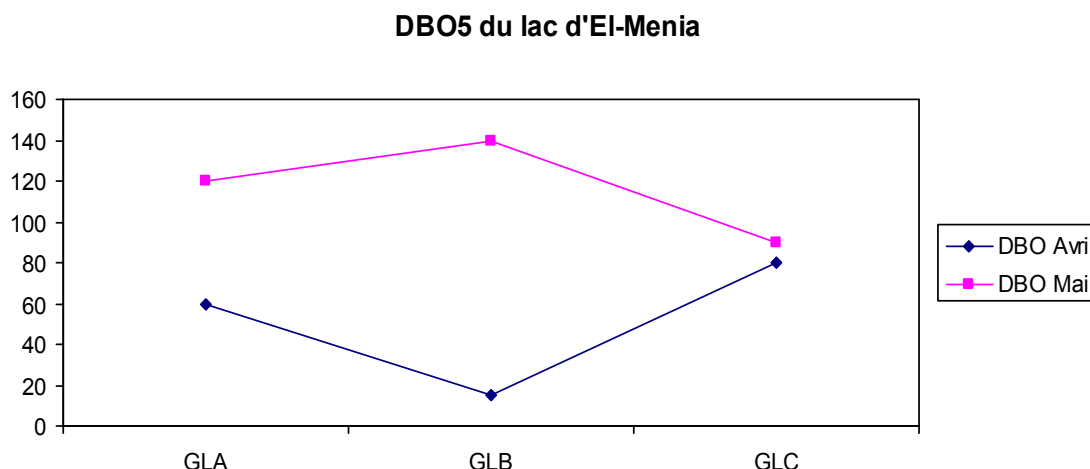


Figure. 50. Evolution de DBO5 de lac d'EL-Menia (Avril et Mai 2011)

8. Indice de biodégradabilité

La DCO représente la demande chimique en oxygène, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables dans des conditions données, en général DCO égal 2 ou 1.5 fois le DBO5. Contrairement à la DBO5 ou elle se fait lentement par action des microorganismes, l'oxydation est provoquée ici à l'aide d'un oxydant (bichromate de potassium). Alors que la DBO5 ne mesure que la matière organique naturellement et rapidement dégradable, la DCO permet de mesurer l'ensemble des matières organiques. C'est pourquoi les valeurs de DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de DBO5. Par ailleurs, le rapport DCO/DBO5 permet d'évaluer le caractère biodégradable des matières en présence.

Le rapport DCO/DBO5 détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique.

Si le rapport est inférieur que 3 on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable, un traitement biologique devant être capable d'éliminer l'essentiel de pollution. D'après le rapport entre DCO et DBO5 on a :

- $DCO/DBO5 < 2$ les eaux de lac facilement biodégradable
- $2 < DCO/DBO5 < 3$ les eaux de lac biodégradable avec une traitement
- $DCO/DBO > 3$ les eaux de lac non biodégradable

Dans le cas d'El-Menia la DCO est inférieure que 300 mg/l d'O₂, qui traduit une valeur acceptable, et la pollution n'est pas au stade critique, car le lac peut se conserver dans sa nature.

9. Simulation des saumures du lac

9.1. Indice de saturation

C'est le rapport de l'activité ionique IAP au produit de solubilité à une température donnée. Il est exprimé par l'équation suivante :

$$SI = \text{Log} \left(\frac{IAP}{K_s} \right)$$

Cet indice donne une idée sur les tendances des phases à se dissoudre ou précipiter, et permet de suivre l'évolution géochimique de l'eau, en traduisant les différents processus réactionnels, dont le principal est l'interaction de l'eau avec la roche. Le signe de cet indice est :

- positif (SI) > 0, il signifie que la solution est saturée ou sursaturée à l'égard du minéral qui a tendance à la précipitation.
- négatif (SI) < 0, la solution est sous-saturée vis-à-vis du minéral qui a tendance à la dissolution

9.2. L'indice de saturation de gypse

L'indice de saturation de gypse des eaux de lac d'El-Menia confirme l'analyse chimique faite sur le sol. Les valeurs sont voisines de 0 qui signifient un point de précipitation (sursaturation) ou dissolution (sous saturation), le centre du lac montre un changement au cours de l'évolution très net, le point GC marque une sous saturation liée à l'approche de source des eaux usées qui empêche une saturation des gypse (figure.51).

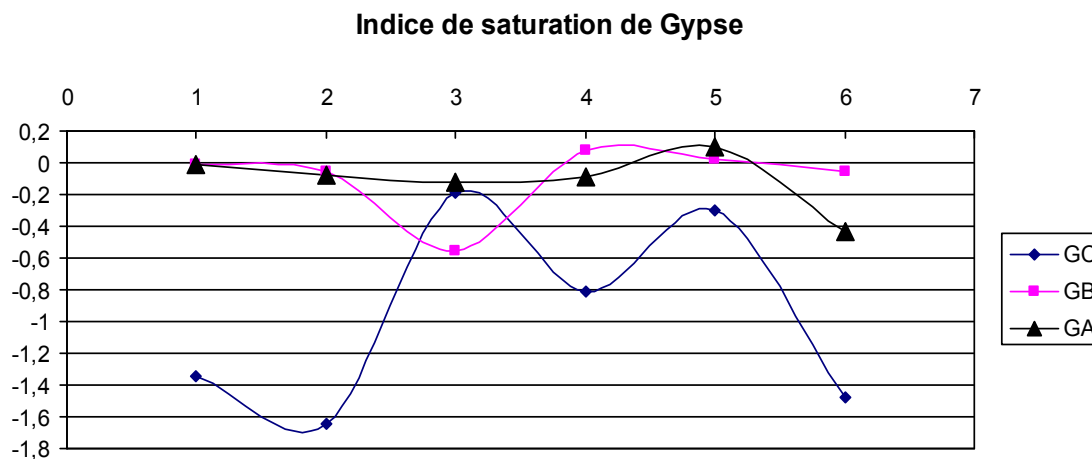


Figure. 51. Indice de saturation de Gypse des eaux de lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011)

La figure 52 présente les indices de saturation de calcite, la calcite se précipite seulement à partir de mois Mai au centre de lac, les autres endroits n'arrivent pas à atteindre la phase de saturation.

9.3. Indice de saturation de Calcite

Le calcite est un minéral subit une précipitation selon l'indice de saturation dans le point GB soit au début de cycle ou à la fin, les d'autres point sont sous sature, (figure, 52).

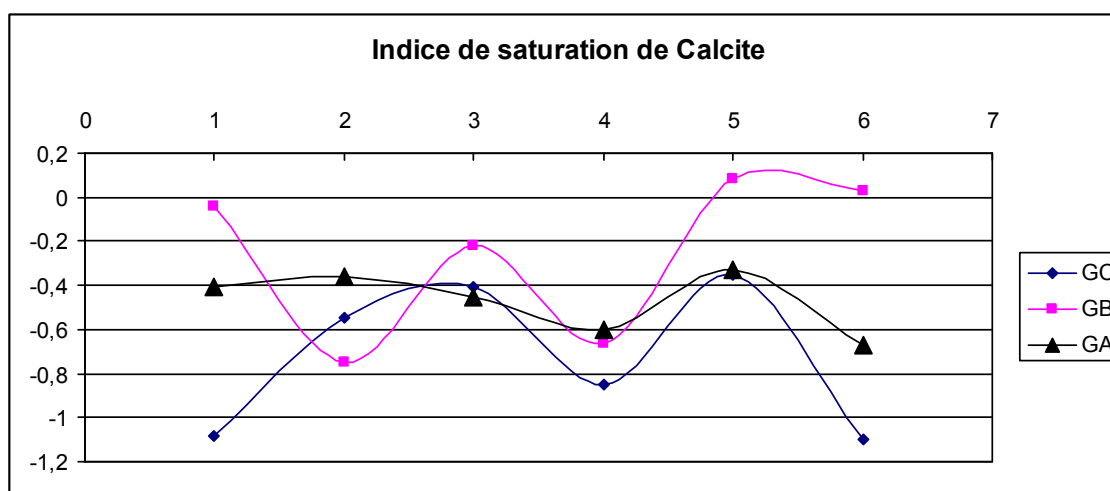


Figure. 52. Indice de saturation de Calcite des eaux de lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011)

9.4. L'indice de saturation de Halite

L'indice de saturation de Halite des eaux du lac d'El-Menia donne de valeur inférieure de -1.5, la dissolution/précipitation de ce minéral est très complexe. La formation de halite au lac d'El-Menia est faible et se fait par le retraitement des eaux qui mène une saturation des lames d'eaux restantes isolées pour former ce minéral, l'envahissement des eaux déclenche le processus de dissolution de Halite (figure.53).

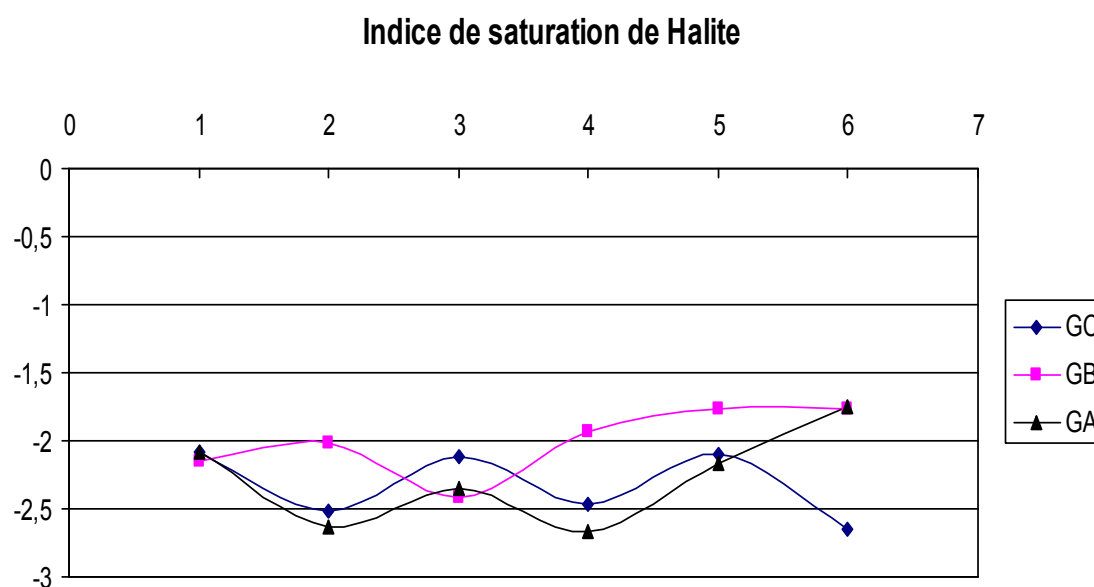


Figure. 53. Indice de saturation de Halite des eaux de lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011)

9.5. Indice de saturation de dolomite

La formation de minéral de dolomite est proche de la formation des calcites, l'existence de magnésium favorise la précipitation.

L'indice de saturation des eaux de lac montre une approche avec celui de calcite, le centre du lac à partir de mois Mai, le dolomite se précipite d'une manière constant. Les autres point du lac donne une indice inférieur a 0. Les autres points subit une dissolution de ce minéral (figure.54).

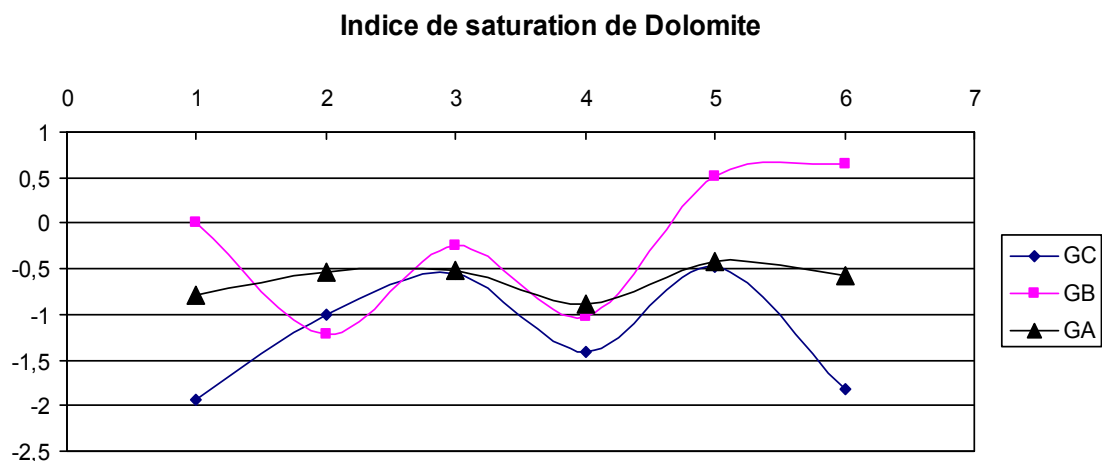
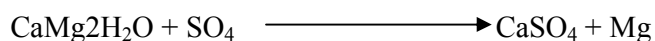


Figure.54. Indice de saturation de dolomite des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011)

9.6. Indice de saturation d'Anhydrite

Dans les sédiments l'anhydrite est souvent associée au gypse, la température provoque une perte des molécules d'eau existantes dans le gypse. La formation de l'anhydrite se fait par l'équation suivante :



A partir de l'indice de saturation de l'anhydrite des eaux du lac d'El-Menia, on remarque que cette indice est proche de 0 qui traduit une précipitation (figure.55), la dissolution de ce minéral est totale dans la partie nord. Au contraire dans le centre et sud.

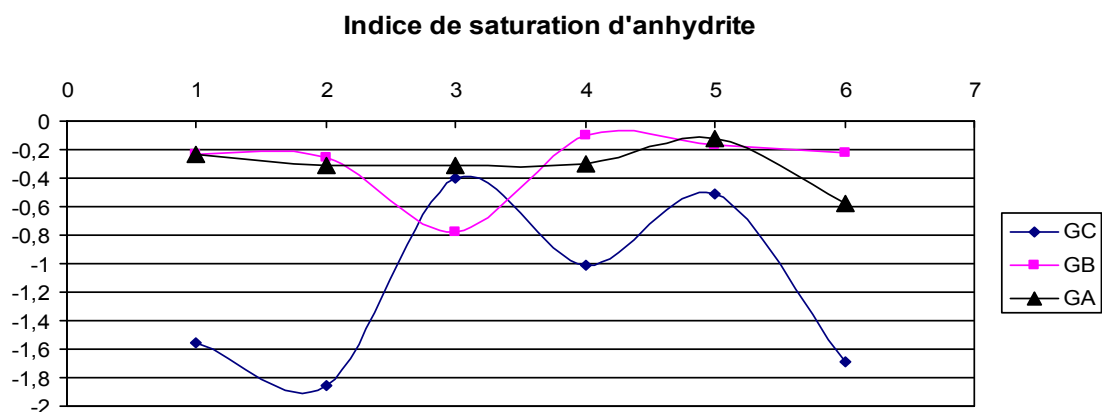


Figure. 55. Indice de saturation d'Anhydrite des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011)

9.7. Indice de saturation d'Aragonite

L'indice de saturation en figure 01 présente une sous saturation des eaux de lac d'El-Menia. Le centre de lac du le mois de Mai donne des valeurs proche de saturation qui favorise une précipitation de ce minéral. Les autres endroits de lac ne permettent pas de formation de ce minéral (figure.56).

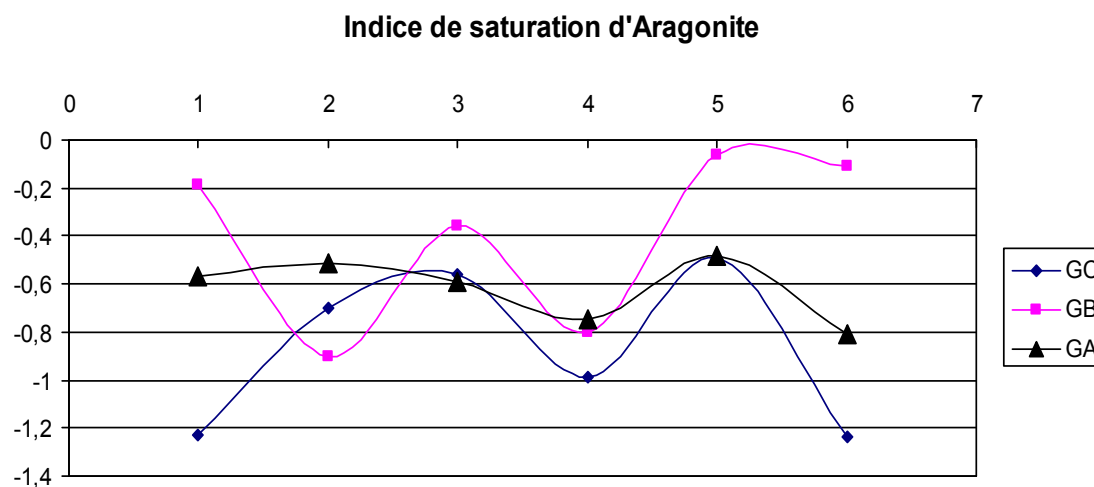


Figure 56 : Indice de saturation d'Aragonite des eaux du lac d'El-Menia (Janvier à Juin 2011)

10. Etude minéralogique DRX

Les analyses des sols du lac d'El-Menia par des rayons X, permettent de trouver quelque minéraux évaporitique et continental

- l'Halite seul, ce minéral est le résultat d'une précipitation à la surface du lac, par l'augmentation des concentrations des éléments chimique (figure. 59)
- l'Halite et quartz, ces échantillons se sont des sols qui contiennent les deux minéraux. La mise en place d'Halite est due à la précipitation, et le quartz résulte des sables de grand erg occidental, soit par voie aérienne ou écoulement (figures.57, 58).
- Dolomite et quartz, l'existence de dolomite signifie une précipitation liée à l'évaporation intense à partir de mois de mars, le quartz reflète l'avancement des sables vers le lac (figures. 60)
- confirment la précipitation des Halites en présence de Quartz.

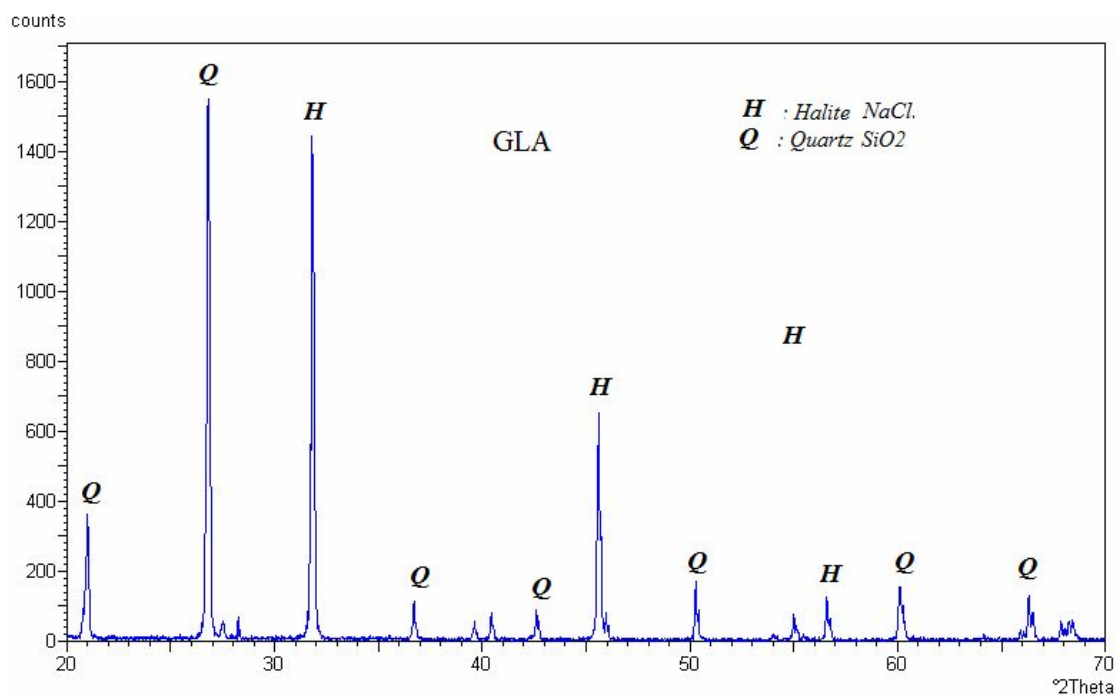


Figure.57. Spectre de Halite et Quartz dans le sol de lac d'El-Menia

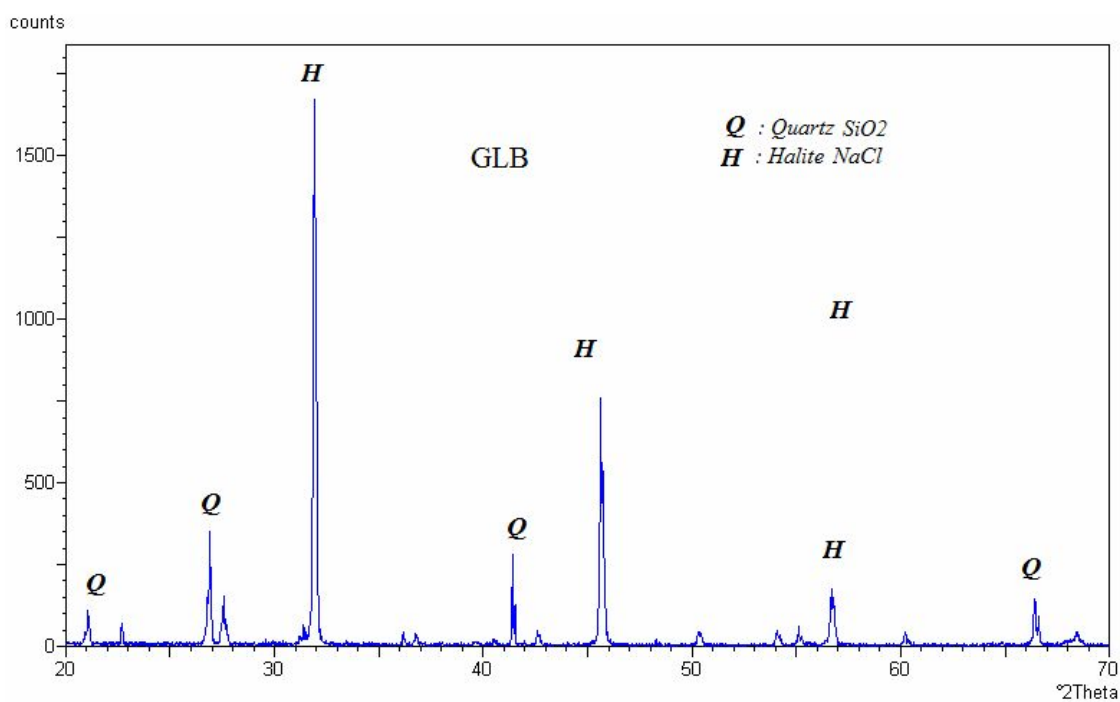
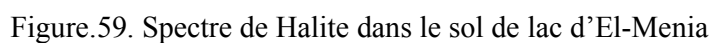


Figure.58. Spectre de Quartz et Halite dans le sol de lac d'El-Menia



11. Conclusion

La minéralogie du lac d'EL-Menia détermine une cyclé de la formation des minéraux évaporitique. La précipitation et la dissolution des ces minéraux sont contrôlé par des apports extérieur de lac, soit par les eaux souterraine ou les eaux usée et aussi par les lessivage de dépôts au alentour du lac. Ces minéraux caractérisent un milieu de sédimentation continental aride, sont repartie selon l'importance et élément chimique et la nature comme le suivant :

- le Halite se trouve dans le centre du lac, plus au moins dans l'amont
- Dolomite et gypse la fin de cycle, s'installe au centre et ou l'amont du lac inférieur
- enfin le calcite, aragonite et anhydrite à cause de manque des données quantitatif, on n'a pas pu confirmé de leur existence malgré la simulation du logiciel de phreeqc.

Conclusion générale

Le lac d'El-Menia fait partie des zones humides de l'Algérie, elle joue un rôle important dans le maintien de la diversité biologique méditerranéenne telle que le Fuligule nyroca et le Tadorne casarca, et aussi des végétations du bassin supérieur tel que les procaryotes, eucaryotes et les algues. Cette diversité donne un intérêt spécial à cet écosystème riche et sensible.

Le lac d'El-Menia s'installe sur des terrains carbonatés d'âge mésozoïque, qui résulte d'une sédimentation liée à la nature de ces couches. L'altération et le lessivage des terrains de cette région contrôlent la nature des dépôts finals sur le lac. L'importance des sables dans les sols du lac d'origine de l'Erg occidental transportés par les vents, fait que le sud du lac est sous contrôle des dépôts quartzeux, au contraire vers le nord où se trouvent les dépôts fins carbonaté et argileux.

Le bilan hydrologique révèle que l'alimentation du lac est contrôlée par deux sources l'un des eaux douces d'origine de l'excès des eaux d'irrigation, qui traduit une faible salinité de lac supérieur. La deuxième source est des eaux usée par le collecteur qui alimente le deuxième lac et qui est très salé et pollué. A cause de ces deux sources le lac supérieur est constant et garde presque les mêmes caractères géochimiques aux cours de l'évolution, mais la deuxième est très sensible au changement de température qui traduit une diminution des surfaces et des concentrations des éléments majeurs vers la fin du cycle géochimique.

Les études des paramètres physiques du lac d'El-Menia permettent de dire que les eaux sont neutres d'un pH entre 6,1 et 7,3 traduit une eau naturelle, d'origine sous terrains de type gréseux (nappe continental intercalaire). La température du lac est variée entre 13 et 31°C, elle augmente du janvier au Juin suivant la température de l'air. Ces valeurs influent sur les concentrations des éléments majeurs par l'évaporation important à partir de mois du Mars.

Les éléments majeurs dans le lac donnent des signes très distincts ; qui sont contrôlés par les paramètres thermodynamiques des eaux, dépendant eux mêmes à des conditions climatiques, notamment la température, le taux d'humidité, le taux d'évaporation et la vitesse des vents, ainsi les produits de solubilité de chaque élément tels que :

- les chlorures et les sodiums présentent de fortes concentrations. Varie de 13780 au 42600 mg/l pour les chlorures, et le sodium oscille de 9740.50 au 28618 mg/l. Les comportements de ces deux éléments dans les eaux du lac d'El-Menia présentent les mêmes conduites. la saturation de ces eaux vis-à-vis de l'Halite apparaît

tardivement au mois du mai. en remarque que plus de 80% de la salinité des eaux est présentée par ces deux éléments.

- le magnésium, les sulfates, le potassium et bicarbonates montrent un enrichissement au cours de l'évolution des eaux du lac d'El-Menia. la concentration du magnésium varie de 47 au 1090 mg/l, les sulfates sont importants oscillent entre 0.80 et 10 g/l, le potassium se trouve entre 120 et 1600 mg/l, le bicarbonate est moins important oscille entre 170 et 980 mg/l.
- le calcium se trouve au lac à des concentrations faibles inférieures de 1g/l, du fait de leur produit de solubilités très faibles, leur déposition dans le lac se fait dans les phases précoces du cycle géochimique.

L'étude du système évaporitique du lac d'El-Menia permet de s'avoir la mise en place de certains minéraux tel que l'Halite, la dolomite, le gypse. Les rayons X prouvent la présence de quelques minéraux évaporitiques, mais d'autres minéraux nous n'arrivons pas à les déterminer. Il faut noter également l'abondance de l'Halite, qui traduit l'importance de la salinité d'une part, et l'instabilité de quelques minéraux, d'autre part. Selon le logiciel phreeqc, on a eu une série de minéraux susceptible à une saturation à s'avoir l'anhydrite, la calcite, l'aragonite, le gypse, la dolomite, et l'halite.

La situation géographique du lac d'El-Menia au sud de Hassi Gara implique la dérive des eaux d'assainissement vers le point le plus bas situé au lac inférieur (164 m), traduit une pollution très importante. Les valeurs de DBO5 entre 20 et 140 mg/l d'O₂ permettent de constater que le lac est au point enivrement limite de critique, et danger pour la biodiversité.

Le lac d'El-Menia est une zone non exploitée, et les études faites sont rares, pour cela il faut bien de s'intéresser à cette mine isolée dans le Sahara, qui est un trésor pour les minéraux évaporitiques et aussi des êtres vivants comme les oiseaux migrateurs. La protection de cet écosystème contre la pollution est l'un des occupations actuelles recommandées pour ne pas arriver à la destruction de la vie biologique de ce lac. Pour cela on recommande :

- Le suivi des études approfondies spécialement les éléments en trace
- Traitement des eaux d'assainissement avant l'arrivée au lac
- Protéger l'espace du lac et les animaux qui vivent dans ce lac
- Développement du lac par la mise en place d'un système d'exploitation des sels.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubert, G. 1978. Méthodes d'analyses des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 191p.
- Boweler, J. M., 1986. Spatial variability and hydrologic evolution of Australian lake basin: analogue for Pleistocene hydrologic change and evaporate formation. *Palaéogéog. Palaéoécol.*, 54 :21-41
- Bryant et al, 1994. The chemical evolution of the brines of Chott el Djerid, southern Tunisia, after an exceptional rainfall event in January 1990. In: R.W. Renaut and W.M. Last, Editors, The sedimentology and geochemistry of modern and ancient saline lakes vol. 50, SEPM Special Publication,
- Braith, 1971. Salt deposits. Their Origin and composition, *Sprreinger Verlag*, 297p
- Busson, G. 1970. Le Mésozoïque saharien. 2 partie : Essai de synthèse des données de sondages Algéro-Tunisiens. Paris. 810p
- Butler. 1969. Modern evaporite deposition and geochemistry of coexisting brines, the Sabkha, Trucial coast. *Arabian Gulf. J. Sed. Petrol.*, 39, 70-89.
- Dubost, D. 2002 Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis Algériennes (422p)
- Emberger, L. 1955. Une classification biogéographique des climats. *Trav. Inst. Bot., Montpellier*, 7, 3-43.
- Eugster H. P. and Hardie L. A. (1978) Saline lakes. In: A. Lerman, Editor, *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*, Springer-Verlag, New York pp. 237-293.
- Eugster, H. P., and Maglione G. (1979) Brines and evaporites of the Lake Chad basin, Africa. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 973-981.
- Eugster et Jones, 1979; Brines and evaporites of the Lake Chad basin, Africa. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 973-981.
- Gac, J. Y., Al-Droubi, A., Paquet, H., Fritz B., and Tardy, Y. (1979) Chemical model for origin and distribution of elements in salts and brines during evaporation of waters. Application to some saline lakes of Tibesti, Chad *Phys. Chem. Earth*, 11, 149-158
- Geddes, M. C., Dekker, P., Williams, W. D., Morton, D. W. and Toppings, M., 1981. On the chemistry and biota of some saline lakes in Western Australia. *Hydrobiologia*, 81: 201-222
- Hacini, M. 2006. Géochimie des sels et des saumures du chott Merrouane et calcul des vitesses de précipitation de quelques minéraux évaporitiques, thèse de doctorat ; Géo, Uni Badji Mokhtar-ANNABA
- Hardie, 1984; Evaporites: Marine or non-marine. *Am. J. Sci.*, 2&1: 19.7-240
- Fabre, J. 1976. Introduction à la géologie de Sahara Algérien. 422p
- Fabre, J. 2005. Géologie du Sahara Occidental et Central Tervuren africain géoscience collection vol 108. 572p.
- O.N.M. 2011. Office Nationale météorologique de Ghardaïa.
- Gueddari, M. 1980 Géochimie des sels et des saumures du chott El Jerid (Sud Tunisien). Thèse de doctorat 3ème cycle 131p.

- Wood, 1975. Thermodynamics of brines salt equilibria, in The System NaCl-KCl- MgCl₂ -CaCl₂-H₂O And NaCl -Mg SO₄-H₂O at 25°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39, 1147-1163.
- Gouskov, N. (1952) Le problème hydrogéologique du bassin de l'Oued R'hir (La géologie et le problème de l'eau en Algérie. Tome II- Données sur l'hydrogéologie Algérienne). XIX^e congrès géologique international.
- Ouled-Baba M. 2005. Recharge et paleorecharge du système aquifère du Sahara septentrional these doc univ Tunis El Manar 261p
- Michard G, 2001. Chimie des eaux naturelles, principes de géochimie des eaux Ed PUBLISUD (461p)
- Neev et Emery, 1967. Dead sea, depositional processus and environment of évaporites. Israël, *Geol.Survey.Bull.*41., 147p
- Lerman et Jones, 1973. Salt transport between sediments and brine in saline lakes. *Limnol. Oceanog.*, 18: 72-85,
- Jones et vandenburgh, 1966; Hardie et Eugster, 1970; Eugster et hardie, 1978;
- Reichert P 1994. AQUASIM, a tool for simulation and data analysis of aquatic systems. *Wat. Sci. Tech.*, 30, 21-30, 1994
- Rodier, J. 2009. L'analyse de l'eau 9e Ed DUNOD, Paris
- Sponcer et al, 1985. Geochemistry of Great Salt Lake II: Pleistocene-Holocene evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49 739-747.
- PNUD -UNISCO. 1972. Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris
- Valyashko, M.G. (1972). Playa lakes-a necessary stage in the development of a salt-Bearing Basin. Pp. 41-51 In: G. Richter-Bernburg (Ed), *Geology of saline deposits*. UNESCO, Paris.
- Vaton, A. 1967. Manuel de sédimentation. Ed TECHNIQUE. Paris

Tableau. 13. Composition chimique (en moles/ KgH₂O) de l'eau de mer à différentes étapes d'évaporation, suivant divers modèles. (HACINI, 2006)

	Réf	K	Na	Ca	Mg	SO ₄	Cl
comp, initial	1	0,01	0,476	0,01	0,054	0,029	0,558
	2	0,011	0,491	0,011	0,057	0,029	0,578
	3	0,01	0,475	0,01	0,054	0,028	0,55
gypse	1	0,034	1,595	0,031	0,182	0,096	1,863
	2	0,085	1,95	0,045	0,271	0,091	2,43
	3	0,028	1,351	0,029	0,148	0,079	1,571
halite	1	0,111	5,219	0,016	0,594	0,227	6,093
	2	0,085	4,442	0,01	0,637	0,216	5,377
	3	0,142	6,89	0,034	0,748	0,29	8,016
thénardite	1						
	2						
	3	0,145	6,867	0,033	0,763	0,295	8,015
bloedite	1	0,608	2,469		3,276	1,168	7,293
	2						
	3						
epsomite	1	0,658	1,178		3,462	1,08	6,6
	2	0,456	1,282	0,033	3,563	1,099	6,666
	3						
kainite	1	0,737	1,048		3,65	0,984	7,116
	2						
	3						
sylvite	1						
	2	0,981	0,861		3,574	0,933	7,124
	3	0,336	5,131	0,024	1,766	0,406	8,236
Hexahydrate	1	0,667	0,652		4,034	0,805	7,777
	2						
	3						
kièserste	1	0,38	0,285		4,947	0,541	9,477
	2						
	3						
Carnallite	1	0,193	0,27		4,812	0,347	9,393
	2	0,648	0,633	0,046	4,322	0,817	8,29
	3						
bischofite	1	0,026	0,065		5,828	0,052	11,643
	2	0,041	0,286	0,073	5,684	0,527	10,639
	3						

1 : BRAITSCH (1971) ; 2 : VALYASHKO (1962) ; 3 : Programme de calcul