

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVEALABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

**Etude géochimique des nappes du complexe terminal (CT)
dans la cuvette de Ouargla**

Soutenu publiquement par : Mr LIMANE AHMED

Le 24/05/2016

Devant le jury :

Président :	Mr. BELLAOUAR Abdelaziz	M. A. A Univ. Ouargla
Promoteur :	Mr. HOUARI Idir Menad	M. A. A Univ. Ouargla
Examineur :	Mr. BOUSSALSAL Boualem	M. C. B Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016



Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

*Je remercie, en premier lieu **ALLAH** qui m'a donné la bonne santé, la volonté et la patience tout au long de mes études.*

*Je remercie vivement mon encadreur **M. HOUARI Idir Menad** sans lui, ce travail n'aurait pas lieu. Il est infiniment remercié de ses efforts, sa disponibilité pourtant ses tâches innombrables, de sa patience, de ses orientations, de ses conseils précieux qui, n'ont pas seulement mené ce travail à terme, mais ont aussi enrichi mes savoirs et mes savoir-faire.*

*Un grand merci aux membres de jury qui ont accepté d'examiner ce travail : **M.Belaouar.A.** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance **.M.Bouselsal.B** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Sans oublier ma **famille** pour le soutien exemplaire moral et matériel continu tout au long de mon cycle. Je remercie vivement l'ensemble du personnel du département de géologie.*

الإهداء

إلى نور حياتي

إلى التي أليها أحبو.....إلى التي تواضع لها الحب

إلى التي بإسمها أهفو..... وإلى رضاها أصبو

اليوم بحنائها أشدو إلى من علمتني معنى "من جد وجد ومن زرع حصد"

أطال الله في عمرها "أمي مكانك الكعب".

إلى الذي بيني في كل زمان ومكان.....إلى الذي منحني إسمه وجعل لي

شان

إلى الذي علمني الصبر والإيمان..... إلى رمز القوة والحنان

إن كان لكمرء قلب فله قلبان قلب فيه ينبض وقلب ينبض الآن

إلى بكلم الروح "أبي أهلي إنسان".

إلى الذين ليست بينهم فروق.....إلى الذين دواؤهم تسري في العروق

إلى أنوار تسطع كالشمس في الشروق.....

إخوتي لا يغيكم الحب والشوق.

إلى الذين

شاءت بي الأقدار أن تجمعني بهم بكل إفتخار.....إلى الذين أصبحوا جزءاً من

حياتي

إلى الذين تعلمت منهم وتعلموا مني.....إلى الذين أعطوني مظهرهم فأعطيتهم

قلبي

إلى إخوتي الذين لم تلدهم أمي...

إلى من تربطني بهم وأبطه الدم من تعلمت منهم أن في الوحدة قوة وفي الفرقة

ضعف.

شعارها " أن ما كان لله دأماً واتصل... وأن ما كان كثيره إنقطع وانفصل"

لكل شيء مفتاح ومفتاح القلوب الكلمة الطيبة

Sommaire

<i>Introduction générale</i>		1
------------------------------------	--	---

Chapitre1: Cadre physique

1	Introduction.....	3
2	Situation géographique.....	3
3	Climatologie de la zone d'étude.....	4
3.1	Température.....	4
3.2	Précipitation.....	5
3.3	Evaporation.....	6
4	<i>Conclusion</i>	7

Chapitre 2 : Contexte géologique

1	Introduction.....	8
2	Litho-stratigraphie	9
2.1	Albien	9
2.2	Vraconien	9
2.3	Cénomaniens	9
2.4	Turonien	9
2.5	Sénonienlagunaire.....	10
2.6	Sénonien et Eocène	10
2.7	Mio-Pliocène.....	10
2.8	Quaternaire.....	11
3	Tectonique	13
4	La Géomorphologie.....	13
4.1	Hamada du Mio-Pliocène.....	14
4.2	Glacis.....	14
4.3	Sebkhas et chotts.....	14
5	<i>Conclusion</i>	16

Chapitre 3 : Contexte hydrogéologique

1.	Introduction.....	17
2	Système aquifère de Sahara septentrional	17
2.1	Le Complexe Terminal (CT).....	17
2.1.1	Limites et morphologie du Continental Intercalaire.....	18
2.1.2	Les exutoires.....	18
2.1.3	Piézométrie.....	19
2.1.4	Caractéristiques.....	20
3.2	Nappe du complexe terminal.....	21

3.2.1	Limites et morphologie de la nappe du Complexe Terminal.....	21
3.2.2	Piézométrie de la nappe du complexe terminal (CT).....	22
3.2.3	Caractéristiques.....	22
3.2.4	Ecoulement et exutoire.....	22
4	hydrogéologie de la région d’Ouargla.....	23
4.1	Le complexe terminal à l’échelle de la cuvette.....	23
5	Conclusion.....	24

Chapitre 4: Matériel et méthodes

1	Introduction.....	25
2	Carte d’emplacement des forages et direction de la coupe.....	25
3	Outil informatique.....	26
3.1	RockWorks 15.....	26
3.2	Statistica.v6.1.....	26
3.3	Surfer 9.....	26
4	Conclusion.....	26

Chapitre 5 : Résultats et discussion

1	Introduction.....	27
2	Variation spatiales de la lithologie des formations aquifères.....	27
2.1	Forages à l’Albien et au Sénono-Eocène.....	27
2.1.1	Région de Khechem Errih.....	27
2.1.2	Région de Haoud Berkaoui (Sud).....	29
2.2	Forages mio-pliocènes.....	33
2.2.1	Région de Ain Zaccar (Sud).....	33
2.2.2	Région de Rouissat et Ain Lahdeb (centre).....	34
2.2.3	Région de Hassi Debbiche (Nord).....	36
3	Présentation des résultats d’analyses physico-chimiques des eaux.....	37
4	Origine des éléments chimiques.....	38
4.1	Origine des chlorures et du sodium.....	38
4.2	Origine des sulfates, du magnésium.....	38
4.3	Origin de calcium Ca.....	39
4.4	Origine du potassium et des bicarbonates.....	40
5	<i>Conclusion</i>	40
	Conclusion générale.....	41

Liste des figures et des photos

Chapitre 1: Cadre physique

Figure.1.1	Carte de situation géographique de couvât Ouargla.....	3
Figure.1.2	Températures moyennes mensuelles (C°), Station d’Ouargla (1990-2011)...	5
Figure.1.3	Répartition annuelle des pluies, Station d’Ouargla (1990-2011).....	5
Figure.1.4	Evaporation moyenne mensuelle en(mm).....	6

Chapitre 2 : Contexte géologique

Figure 2.1	Affleurements géologique de la région d’Ouargla (BG, 2004).....	8
Figure 2.2	Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord-Est Septentrional (Sonatrach et Schlumberger, 1990).....	12
Figure 2.3	Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette d’Ouargla...	18
Figure 2.4	Image satellitaire, bandes 4, 2, 1 sur MNT.....	15

Chapitre 3 : Contexte hydrogéologique

Figure 3.1	Aquifères du Sahara septentrional, (ANRH 2004).....	18
Figure 3.2	Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972).....	19
Figure 3.3	Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003).....	20
Figure 3.4	Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003).....	22
Figure 3.5	Extension géographique du système aquifère CI et CT (UNESCO).....	23

Chapitre 4 : Matériel et méthodes

Figure 4.1	Carte d'emplacement des forages et direction de la coupe.....	25
------------	---	----

Chapitre 5 : Résultats et discussion

Figure 5.1	Colonne stratigraphique du forage F6 (Khechem Errih).....	27
Figure 5.1	Colonne stratigraphique du forage F2 (Khechem Errih).....	28
Figure 5.3	Colonne stratigraphique du forage GLSW 1.....	35
Figure 5.4	Colonne stratigraphique du forage OKN 641.....	30
Figure 5.5	Colonne stratigraphique du forage BKHP 1.....	31
Figure 5.6	Coupe géologique synthétique de la cuvette de Ouargla.....	32
Figure 5.7	Colonne stratigraphique du forage 652-J 10 (Ain Zaccar).....	33
Figure 5.8	Colonne stratigraphique du forage 818-J 10 (Rouissat).....	34
Figure 5.9	Colonne stratigraphique du forage 610-J 10 (Ain Lahdeb).....	35
Figure 5.10	Colonne stratigraphique du forage 816-J 10 (Debbiche).....	36
Figure 5.11	La relation Cl vs Na	38
Figure 5.12	La relation SO4 et Mg.....	39
Figure 5.13	La relation SO ₄ et Ca.....	39
Figure 5.14	La relation Ca et HCO.....	40

Liste des tableaux

Chapitre 1: Cadre physique

Tableau 1.1	Température moyenne mensuelle (°c), période (1990-2011).....	4
Tableau 1.2	Précipitations moyenne mensuelle (mm), période (1990-2011).....	4
Tableau 1.3	Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Période 1990-2011).....	6

Chapitre 5 : Résultats et discussion

Tableau 5.1	Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux.....	38
-------------	---	----

Liste des abréviations

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
BG	Bonal & Gardel (bureau d'études Suisse)
CI	Continental Intercalaire
CT	Complexe Terminal
ERESS	Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional
MP	Mio-Pliocène
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONM	Office National de Météorologie
OSS	Observation du Sahara et du Sahel
SASS	Système Aquifère du Sahara Septentrional

Introduction générale

Dans le sud algérien, les réserves utilisables représentent des volumes impressionnants. Mais leur utilisation reste limitée du fait de problèmes d'exploitation liés aux difficultés d'accès aux aquifères ainsi qu'à la médiocrité de leur qualité physico-chimique. La région Est du Sahara septentrional est particulièrement concernée par ces problèmes. Divers travaux antérieurs ont en effet mis en exergue que les eaux souterraines de cette région présentaient une salinité importante, surtout les eaux du complexe terminal. Ces études ont porté sur la reconnaissance géologique (Bel et al, 1966 ; Busson, 1970 ; Fabre, 1976), et hydrogéologique (Cornet, 1964 ; Bel et al, 1969. Castany, 1982) du système aquifère du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire du Sahara septentrional. Alors que d'autres, ont évalué les potentialités hydriques du système, tout en proposant, divers scénarios de son exploitation à moyen et à long terme (Unesco, 1970 ; Nesson, 1978. BRL, 1998 ; OSS, 2003b).

L'objectif de notre travail est une contribution à l'étude des aspects se rapportant à la géochimie des eaux du Complexe Terminal dans la région de Ouargla. Nous limiterons néanmoins notre champ d'investigation à la nappe des sables du Mio-Pliocène du complexe terminal.

Afin de mener à bien ce travail, nous avons adopté une structure de mémoire contenant les cinq chapitres suivants :

Chapitre 1 : Cadre physique

Dans ce chapitre, on a présenté la situation et le cadre physique de notre région d'étude, puis, on a synthétisé les composantes climatiques essentielles dans le but de déterminer l'influence de ce facteur sur les eaux et leur composition chimique.

Chapitre 2 : Contexte géologique

On a exposé dans ce chapitre, la synthèse des travaux antérieurs portant sur les caractéristiques géologiques et lithologiques des aquifères et du sous sol de la région Est du Sahara septentrional, afin de déterminer la relation existant entre la lithologie et la composition chimique des eaux.

Chapitre 3 : Contexte hydrogéologique

Ce troisième chapitre consiste à présenter les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère du Mio-Pliocène de notre zone d'étude en se basant sur les travaux portés dans ce sens dans le but d'exploiter ces reconnaissances dans l'interprétation des résultats obtenus.

Chapitre 4 : Matériel et méthodes

Ce chapitre expose les différentes méthodes et approches suivies pour étudier l'évolution du chimisme des eaux en fonction de la lithologie le long du sens présumé d'écoulement (reconnaissance géologique, méthodes d'analyses physico-chimiques des eaux et outil informatique).

Chapitre 5: Résultats et discussion

Ce chapitre a pour objectif en premier lieu, la présentation des résultats de traitement des données géologiques et de ceux des analyses physico-chimiques des eaux, en les comparant parallèlement avec des résultats obtenus à partir des travaux antérieurs effectués dans ce sens, puis on a essayé d'interpréter ces résultats en fonction des caractéristiques lithologiques de la région.

1. Introduction:

Dans ce chapitre ; nous présentons un aperçu sur le cadre physique de la zone d'étude en particulier sa situation géographique et son contexte géologique.

2. Situation géographique:

La wilaya d'Ouargla représente un large territoire de 163 230 km². Elle se positionne idéalement au centre de la région , Elle est située dans la partie sud-est d'Algier à 850 km de la capitale Algérie. Elle est limitée administrativement

- Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued ;
- Au Sud, par Illizi et Tamanrasset ;
- A l'Est, par la Tunisie ;
- A l'Ouest, par Ghardaïa.

Ses coordonnées géographiques sont : les longitudes 5°15' et 5°25' Est et les latitudes 31°55' et 32°00' Nord (Figure.1.1).

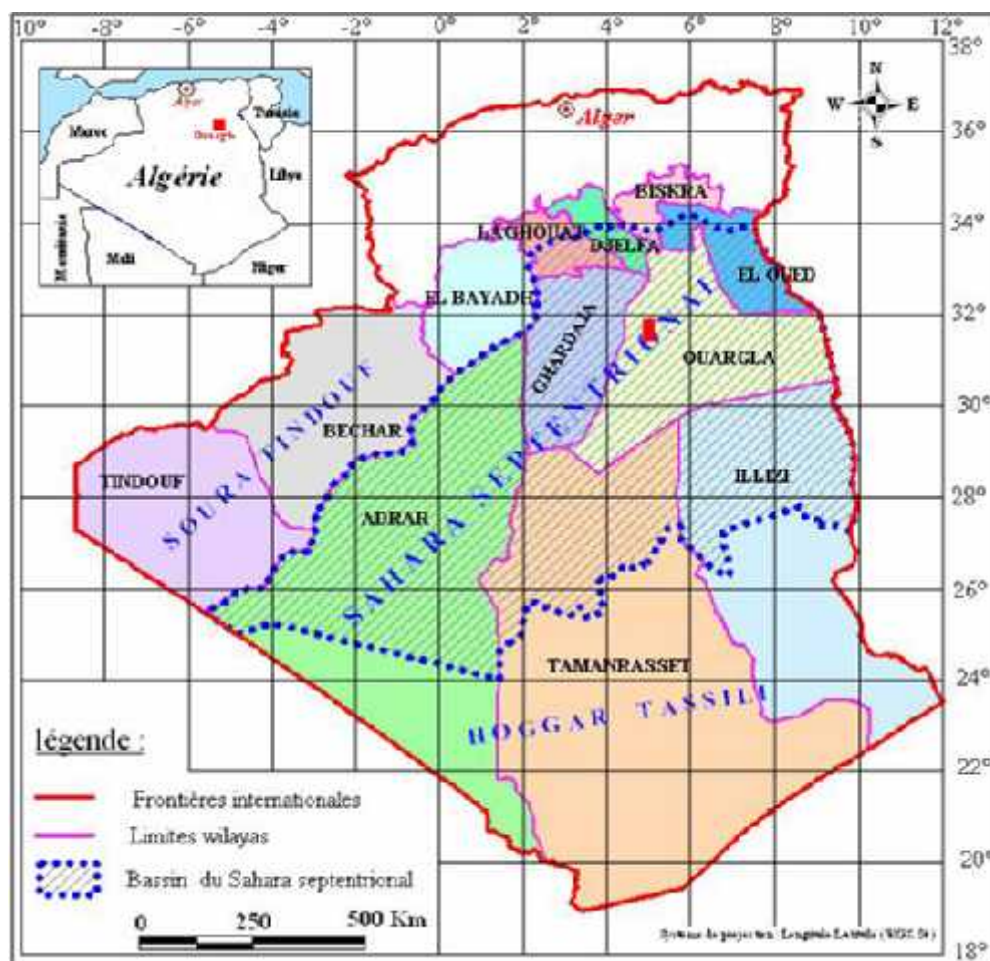


Figure.1.1 : Carte de situation géographique de couvet du Ouargla.

D'une façon générale l'Etat des eaux se présente comme suit :

- Les eaux destinées à l'AEP ne répondent pas aux normes de potabilité notamment en ce qui concerne la minéralisation ;
- La dégradation de la qualité des eaux du Mio-pliocène (salinité) ;
- Les eaux de la nappe phréatique présentent une forte salinité (>15 g/l) ajouté à cela une contamination de cette nappe par les eaux usées, ce qui présente une menace de pollution pour les autres nappes ;
- Remontée des eaux;
- connaissance et gestion des ressources en eau souterraines ;
- forages profonds (accidents et techniques de bouchage) ;
- préservation qualitative des ressources en eau ;

Selon l'inventaire de l'ANRH édité en janvier 2005, les prélèvements de la nappe CT dans la cuvette de Ouargla sont 83 Hm³ pour 222 forages exploités, tandis que les prélèvements dans la région de Ouargla, sont 74 Hm³ pour 191 forages exploités. (ANRH 2004).

3. Climatologie de la zone d'étude:

Le climat de la région d'Ouargla est un climat de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation. Nous présentons dans ce chapitre le contexte climatique de la région de Ouargla. Pour cela, nous basons sur une synthèse sur les données disponibles entre 1990 et 2011. Ces données utilisées dans ce chapitre ont été fournies par l'office national de météo (ONM).

3.1. Température:

Les températures moyennes mensuelles (°C) de la période (1990-2011) montrent que le climat de la région de Ouargla est type aride saharien, les températures sont très élevées en été, la moyenne des mois les plus chauds (Juillet et Aout) dépasse les 35°C et celle du mois le plus froid (Janvier) est inférieure à 13°C (ONM, 2010).

Tableau 1. 1: Température moyenne mensuelle (°c), période (1990-2011) (ONM, 2010)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	juil	Aout
Moy	34,35	25,10	16,44	12,88	12,33	14,80	18,16	23,69	28,04	32,65	35,76	35,23

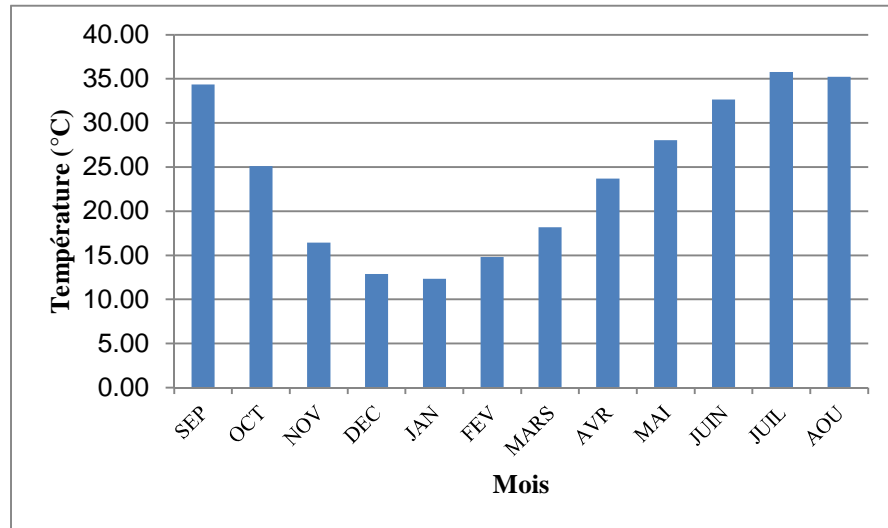


Figure.1.2: Températures moyennes mensuelles (C°), Station d’Ouargla (1990-2011).

3.2. Précipitations:

La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 38,57 mm, Novembre est le mois le plus pluvieux, par contre les mois de Juin et Juillet sont les moins pluvieux avec une moyenne qui ne dépasse pas 1 mm. (ONM , 2010).

Tableau.1. 2 : Précipitations moyenne mensuelle (mm), période (1990-2011).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin	Juil	Aout
Moy	3,91	5,90	5,63	3,70	7,00	1,18	5,59	1,28	3,01	0,45	0,17	0,89

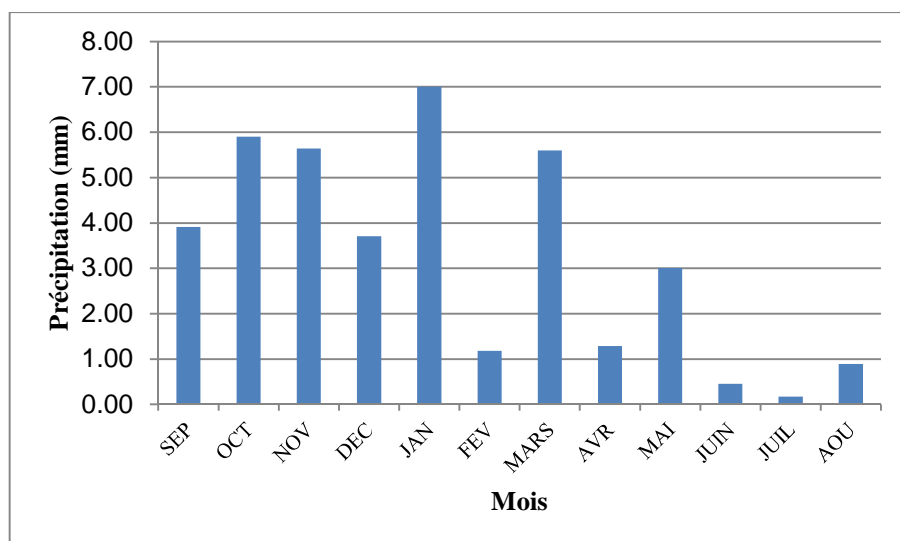


Figure.1. 3: Répartition annuelle des pluies, Station d’Ouargla (1990-2011).

3.3.L'évaporation:

L'évaporation est un phénomène physique, qui augmente avec la température, la sècheresse et l'agitation de l'air. Ce terme représente la restitution de l'eau de la surface terrestre sous forme de vapeur, à l'atmosphère et sous des conditions climatiques et physiographiques. Pour l'évaporation, la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement, ...etc.

L'évapotranspiration est déterminée par l'ensemble des processus d'évaporation (phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique) on distingue alors l'évapotranspiration potentielle (E.T.R) qui correspond à la quantité d'eau pouvant être restituée par la transpiration des végétaux et l'évaporation à partir du sol et l'évapotranspiration réelle (E.T.R) qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée (ONM , 2010).

Tableau.1.3 : Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Période 1990-2011.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moy	280,1	196,0	110,2	88,9	86,6	120,9	174,2	246,8	300,2	367,	417,6	396,7

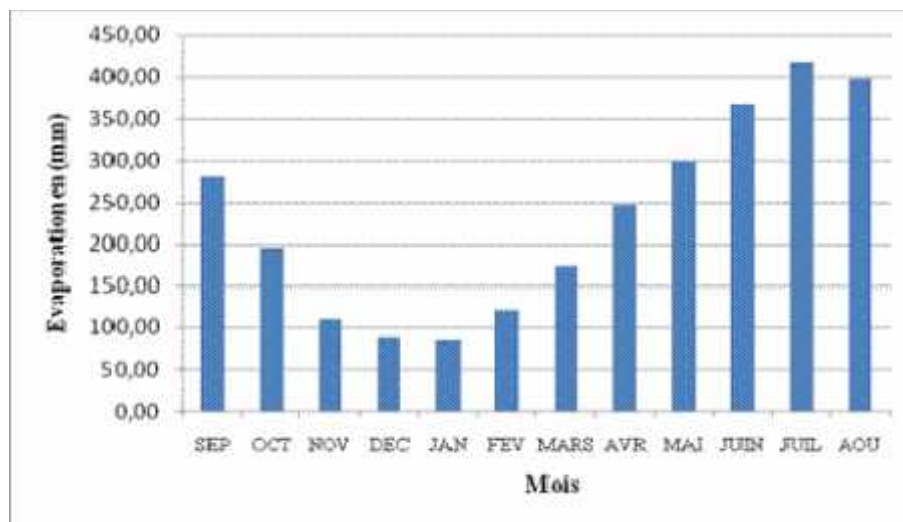


Figure.1. 4 : Evaporation moyenne mensuelle en (mm)

L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 417.66 mm au mois de juillet et de 88.98 mm au mois de Décembre, soit 3094.84 mm moyenne annuelle, Elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines.

4. Conclusion:

La région d'Ouargla est située dans la partie sud du pays à 650 Km du Capital Alger, sa superficie est de 163 230 km². Les formations géologiques qui caractérisent cette région allant du Cambrien au Quaternaire. La zone d'étude fait partie du Bas Sahara, se présente en cuvette synclinale dissymétrique. Elle est caractérisée par un remplissage sédimentaire constitué d'une alternance de terrains perméables et imperméables. Ces terrains perméables représentent le réservoir hydrique dont le complexe terminal est l'objet de la présente étude.

Le climat de la région de Ouargla est du type hyper – aride marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Les précipitations ne dépassent pas les 7 mm, enregistrées au mois de Janvier et Mars et Mais aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région. Les vents sont de direction SW-NE.

1.Introduction:

Sur la région d'Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires.

A partir des données de forages pétroliers et celles des forages hydrauliques, nous avons établi des coupes géologiques et un log synthétique des formations lithologiques. La description des différentes formations a pu être effectuée.

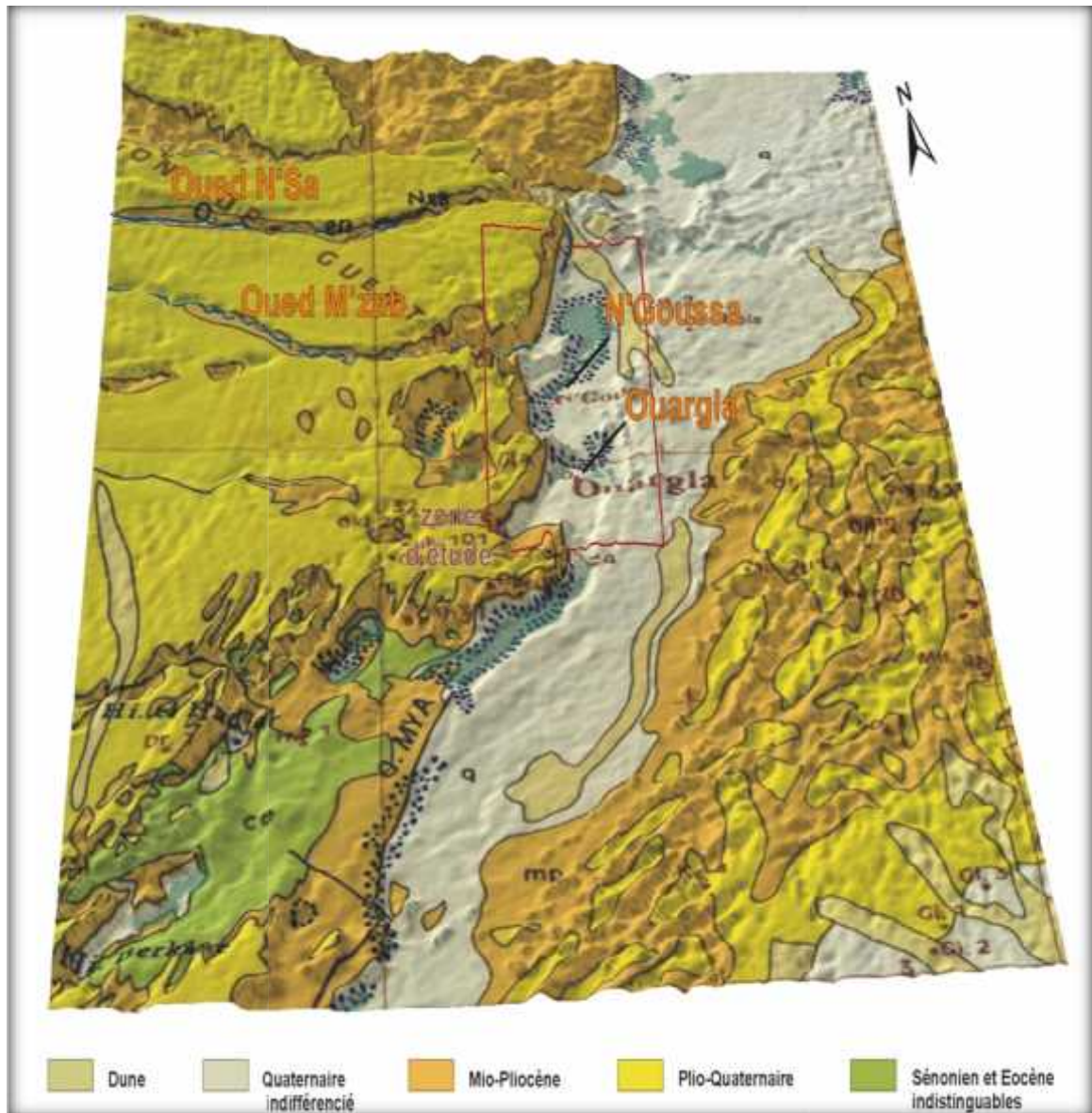


Figure.2. 1: Affleurements géologique de la région d'Ouargla (B.G , 2004)

2.Litho-stratigraphie:

2.1Albien :

Sur la région d'Ouargla, l'albien correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire; Ce sont des grès, argiles et sables. L'épaisseur de ces formations est variable (417- 432 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants (70 à 90%) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois d'intercalations de sables grossiers à limons argileux ou souvent carbonatés. On note des passées d'argiles brun-rougeâtre, elles sont même pélitiques et sableuses sur les puits les plus septentrionaux (OKJ 20, OKJ60). Dans son ensemble, L'Albien correspond à un horizon aquifère. DJIDEL.M, (2008)

2.2.Vraconien :

L'intercalation Albo-varconienne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès Albien et les argiles Cénomaniennes, Il est formé de:

- Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs y sont inférieures à 100 m mais supérieures à 50 m sur Haoud-Berkaoui, sauf quelques exceptions locales en particulier dans deux puits de Haoud-Berkaoui (OKJ 60 : 40 m et OKJ 20 : 36 m).
- Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques . (DJIDEL.M ,(2008)

2.3Cénomaniens :

Il est formé de deux séries (inférieure et supérieure) :

- la série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brune-rougeâtre ou gris-verdâtre, son épaisseur varie entre 65 et 80 m. On note aussi quelques passées de calcaires dolomitiques en particulier à la partie médiane de la série.
- la série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite, de quelques intercalations dolomitiques, et de passées de sel gemme, son épaisseur est de l'ordre de 70 m. DJIDEL.M,(2008)

2.4.Turonien :

Il se présente sous forme d'une dalle ayant une épaisseur régulière "barre turonienne", il est de l'ordre de 73 m. Il s'agit d'une série essentiellement calcaire : calcaire poreux blanc, parfois grisâtre,

pulvérulent, quelquefois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique. (DJIDEL.M)

2.5.Sénonien lagunaire :

Le Sénonien lagunaire y est particulièrement épais, son épaisseur est supérieure à 400 m. Il est formé par :

- Sénonien salifère : ayant une épaisseur moyenne de 200 m ; au niveau du forage 621J10, elle diminue jusqu'à 100 m.
- Sénonien anhydritique : son épaisseur moyenne atteint 300 m.
- Sénonien carbonaté : Son épaisseur moyenne est de 150 m excepté pour le forage 581J10 où elle est de 100 m. DJIDEL.M, (2008)

2.6.Sénonien et Eocène :

Le Sénono-Eocène est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 à 200 m. Il s'agit des calcaires dolomitiques cristallins ou micro-cristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux. DJIDEL.M,(2008)

2.7.Mio-Pliocène :

❖ correspond au Continental Terminal tel qu'il à été défini par C. Kilian (1931). C'est un puissant ensemble de sables et d'argiles, qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénono-Eocène.

On distingue quatre niveaux différents dans la région de Ouargla, se sont de bas en haut:

- Un dépôt argileux peu épais (< 10 m) recouvrant dans la partie centrale de la cuvette et suivant une bande Nord-Sud le Sénono-Eocène.
- Un niveau grésosableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais (> 30 m) et le plus constant.
- Un niveau argilo-sableux dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche n'apparaît que dans certains endroits.
- Un niveau très épais (30 m) dans la zone des chotts, à sommet affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne). DJIDEL.M,(2008)

2.8. Quaternaire :

À la base du quaternaire, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Ce niveau met en charge les aquifères du Mio-Pliocène à Ouargla. Le niveau le plus superficiel est constitué de sable éolien parfois gypseux et des produits de remaniement des terrains Mio-Pliocène. Les nappes phréatiques sont généralement contenues dans ce dernier niveau. Les sondages superficiels (profondeur moins de 30 m) effectués dans différentes localités de la cuvette, ont permis de rencontrer les ensembles suivants:

- Sur le plateau, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération du grès à sable rouge du Mio-Pliocène. C'est le sol le plus pauvre en gypse de la région; jusqu'à 8 m de profondeur il ne présente aucun niveau d'encroûtement; entre 25 et 75 cm de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers.
- Sur les chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse ou polygonale, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de sebkhas associés à une végétation gypso halophiles. De 15 à 20 cm d'épaisseur on trouve un encroûtement gypseux pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. En dessous un tuf présente une teneur de gypse décroissante
- Les Sebkhas sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.
- Les dunes sont de sable éolien d'origine gréseux provenant de Hamada Mio-Pliocène. Il existe dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhas, et sur les versants rocheux.

D'après la carte géologique réalisée par G. Busson, le relief d'Ouargla est constitué de roches sédimentaires et alluvions et colluvions dérivées de ces roches: DJIDEL.M,(2008)

- Marne jaunâtres, plus ou moins gréseuses, salées ou gypseuses;
- Calcaires ocre, gréseux ou marneux;
- Argiles sableuses rouges à ocres salées et gypseuses;
- Grés, sables et conglomérats;
- Calcaires lacustres;
- Sables récents du quaternaire.

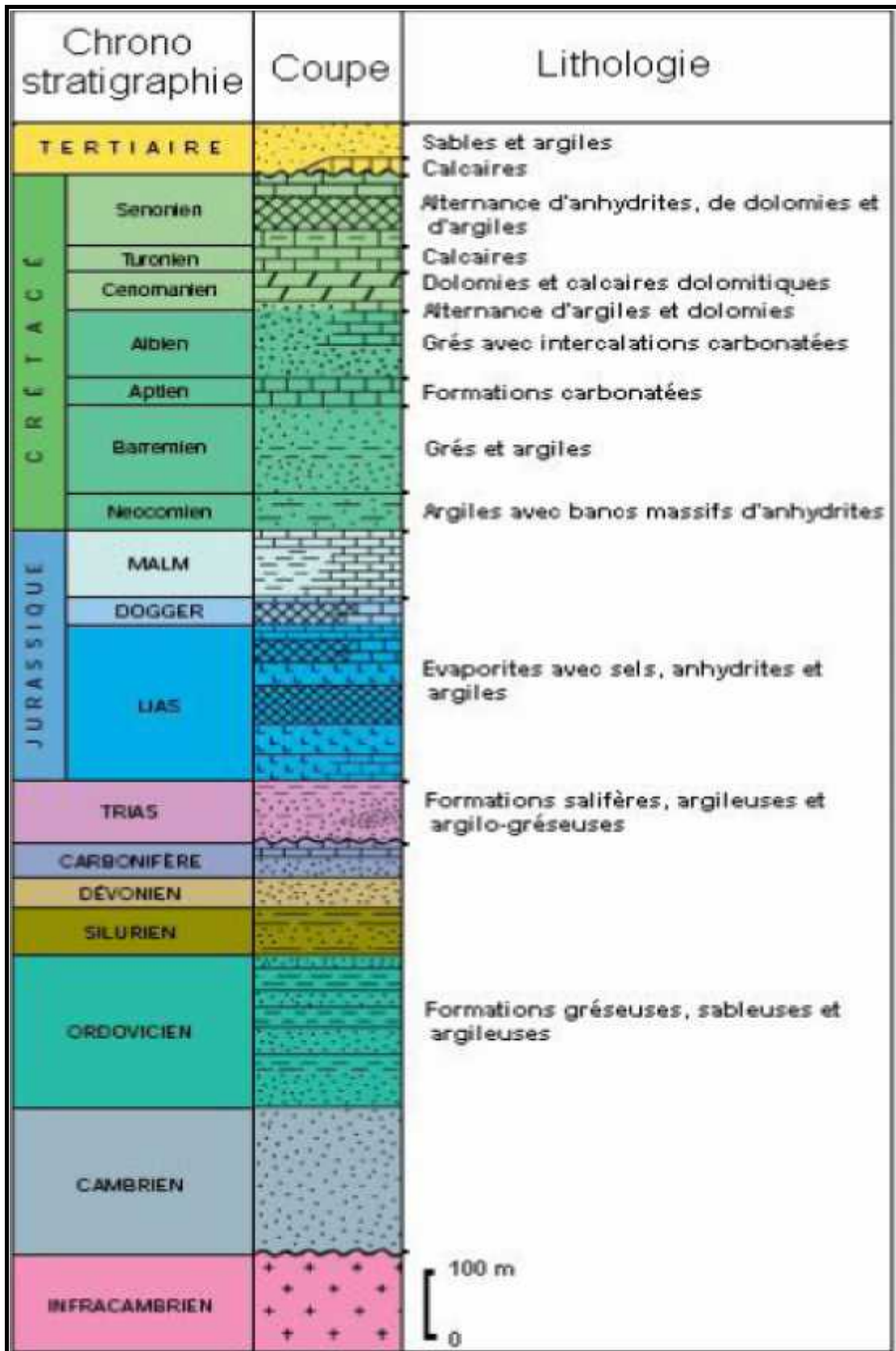


Figure.2.2: Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord-Est Septentrional (Sonatrach et Schlumberger, 1990)

3. Tectonique:

La cuvette d'Ouargla fait partie de la dépression d'Oued M'ya. Cette dernière, occupe la plus grande partie du bas-Sahara. L'épaisseur totale de la couverture sédimentaire atteint 400 m dans la partie Sud et la partie Ouest de la dépression, et elle augmente dans la partie Nord jusqu'à 6000 m. Dans son ensemble la dépression d'Oued M'ya est une structure dissymétrique assez plate, ALIEV M, (1972)

Les données sismologiques recueillies à l'occasion des recherches pétrolières, montrent que la dépression est structurellement affectée par les failles hercyniennes du Hoggar à partir du Cambrien jusqu'au Sénonien inférieur. Ces failles sont orientées Sud-est Nord-Ouest et traversent la région de Ouargla par l'est. Elles seraient à l'origine des apports profonds dans cette zone GUENDOUZ A. et MOULA. A.S, (1992-1995)

Les logs de forages, et les coupes géologiques qui ont été établis, nous ont permis de préciser les formations litho-stratigraphiques présentes sur la région de Ouargla, il s'agit :

- du secondaire, avec les formations allant de l'Aptien jusqu'au Sénonien;
- du tertiaire, allant de l'Eocène inférieur jusqu'au Mio-Pliocène constituant les formations du complexe terminal;
- Et enfin du quaternaire qui est constitué d'un matériau détritique et de sables éoliens.

4. La Géomorphologie:

La cuvette de Ouargla appartient au sous-bassin saharien de code 04, elle correspond à la basse vallée fossile de l'Oued M'ya. Sur le plan géomorphologique la coupe ci-dessous (Figure.2. 3) permet de distinguer les unités suivantes CORNET, (1964)

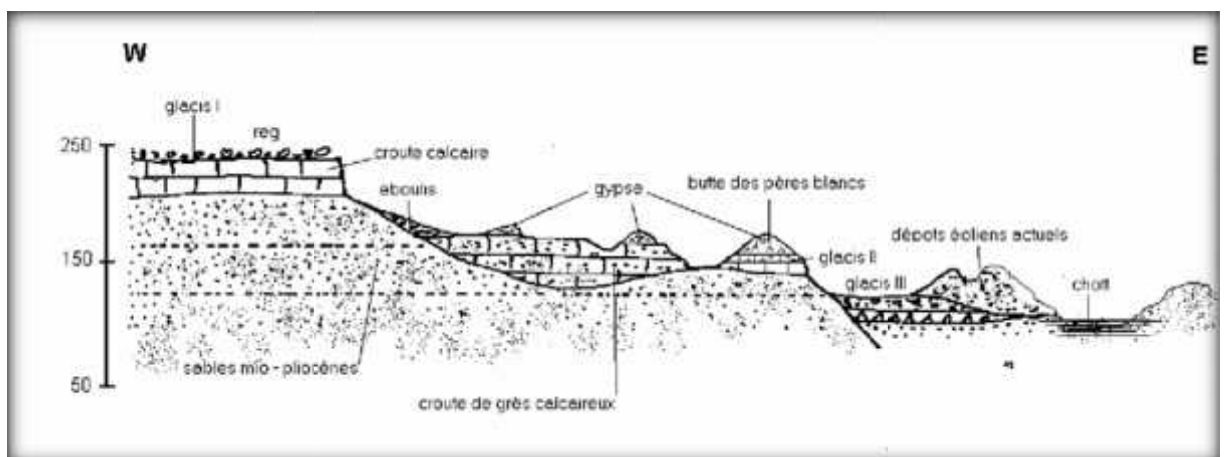


Figure.2. 3 : Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette d'Ouargla, (LELIEVRE, 1969)

3.1.Hamada du Mio-Pliocène :

Une formation continentale détritique située à l'Ouest de Ouargla, et s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Elle est fortement érodée, laissant une série de buttes témoins ou Goures.

3.2.Glacis :

Sur le versant Ouest de la cuvette, les glacis s'étagent en quatre niveaux allant de 200 m à 140 m. les glacis dont les hauteurs varient de 180 à 160 mm sont très visibles et caractérisés par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce dernier est faible, et souvent recouverte de sables et de graviers. A l'Est de la cuvette se trouve un vaste glacis alluvial à sable grossier, de 150 m d'altitude.

3.3.Sebkhas et chotts :

Constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond au centre de la sebkha est constitué des sols gypseux en surface. Souvent la nappe phréatique affleure en surface au centre de la sebkha. Au Nord de la ville d'Ouargla (136 m d'altitude), diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhet Safioune (103 m d'altitude).

La cuvette d'Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

Après son creusement, la cuvette d'Ouargla a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites. Un niveau charbonneux a été daté de – 17 000 ans. (HAMDI-A, B). Des oueds, descendant de la dorsale mozabite à l'Ouest (oueds M'Zab, N'Sa, Z'gag) ou du Tadmait (oued Mya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djemel pour l'oued M'Zab) ou barrant la vallée (oueds N'Sa et Z'Gag au Nord de la Sebkhet Safioune).

Avec la fin du dernier grand pluvial, le lac s'est retiré. L'oued Mya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de la Sebkhet Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

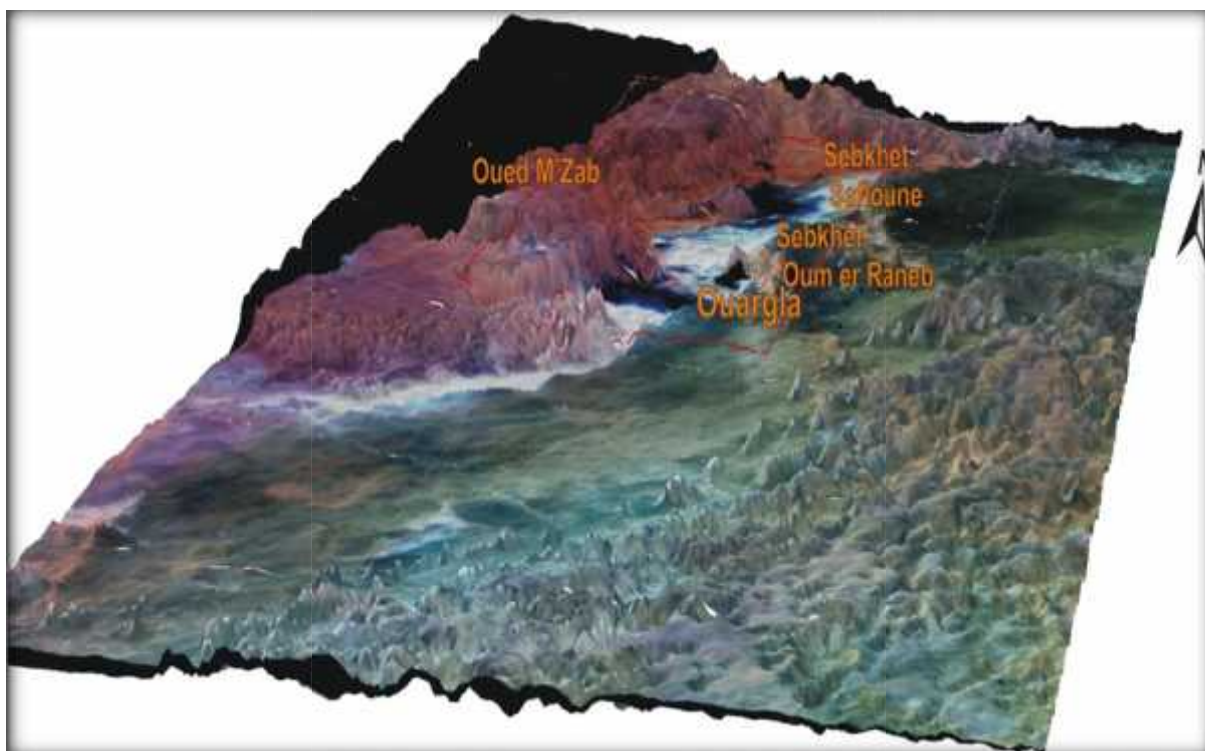


Figure.2.4 : Image satellitaire, bandes 4, 2, 1 sur MNT

(Les hauteurs sont fortement exagérées)

(Modèle numérique de terrain – MNT – obtenu par imagerie d’interférométrie radar satellitaire)

La cuvette d’Ouargla est bien visible au centre de la zone étudiée. Les alluvions des oueds N’Sa et Z’Gag ferment la vallée au nord de la Sebkhet Safioune, empêchant un écoulement vers l’aval. Cette fermeture s’est rompue dans sa partie est et les eaux du lac ont pu s’échapper vers le nord-est, en direction de Touggourt et du Chott Melrhir.

Actuellement, les plus grandes crues de l’oued Mya s’arrêtent à 200 km à l’amont d’Ouargla. Celles de l’oued M’Zab atteignent la Sebkhet Safioune deux fois par siècle, alors que celles de l’oued N’Sa semblent plus fréquentes. (Lors de deux passages en février et en novembre 2002 sur l’oued N’Sa, il a été constaté un écoulement superficiel récent quoique faible dans la partie aval de son cours, dans la région de Hassi Khefif).

Les travaux des archéologues confirment que la dépression de l’oued M’ya n’a été drainée par des cours d’eau qu’à une période très ancienne du Quaternaire et que les sebkhas n’étaient pas fonctionnelles à l’époque néolithique car certains gisements reposent sur elles. Les sebkhas sont apparues au cours d’une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand pluvial contemporain de la glaciation de Würm. DUTIL, P, (1971)

4. Conclusion :

Notre zone d'étude appartient au Sahara Nord –Est septentrional algérien, géologiquement, elle est formée de deux unités structurales ; le socle précambrien composé de roches éruptives et métamorphiques, surmonté par des milliers de mètres de couches sédimentaires allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire.

Dans cette partie du Sahara algérien, trois formations géologiques contiennent les nappes d'eau du SASS ; l'Albien gréseux et sableux (CI), le Sénonien lagunaire et carbonaté et le Mio-Pliocène sableux et argileux, ces formations ainsi que tout le bassin sédimentaire du Sahara Est septentrional sont caractérisées par l'absence de déformations tectoniques importantes.

1. Introduction:

Le sud algérien renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines, cette eau est regroupée en deux grands aquifères (le continentale intercalaire (CI) et le complexe terminale (CT)). Dans ce chapitre on présente, on a essayé de donner un aperçu sur le système aquifère du Sahara septentrional (SAAS) de point de vue superficie, étendue, limites, recharge et piézométrie des nappes exploitées, nous basons essentiellement sur celles du complexe terminal.

2. Système aquifère de Sahara septentrional:

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

La cuvette d'Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres.

2.1. Le Continentale intercalaire:

Le continental intercalaire est un aquifère transfrontalier partagé entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie algérienne s'étend sur environ 600 000 Km², renfermant d'importantes quantités d'eau estimées à 30 000 milliards de m³ ERESS, (1972) OSS, (2003). Dans la région d'Ouargla la nappe est située à plus de 1000 m de profondeur, cette nappe est plus connue sous la dénomination d'« Albien », nom de l'étage géologique qui renferme la couche aquifère supérieure du « Continental Intercalaire », qui est la plus exploitée.

Le terme de continental intercalaire, par contre, désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara, entre deux cycles marin.

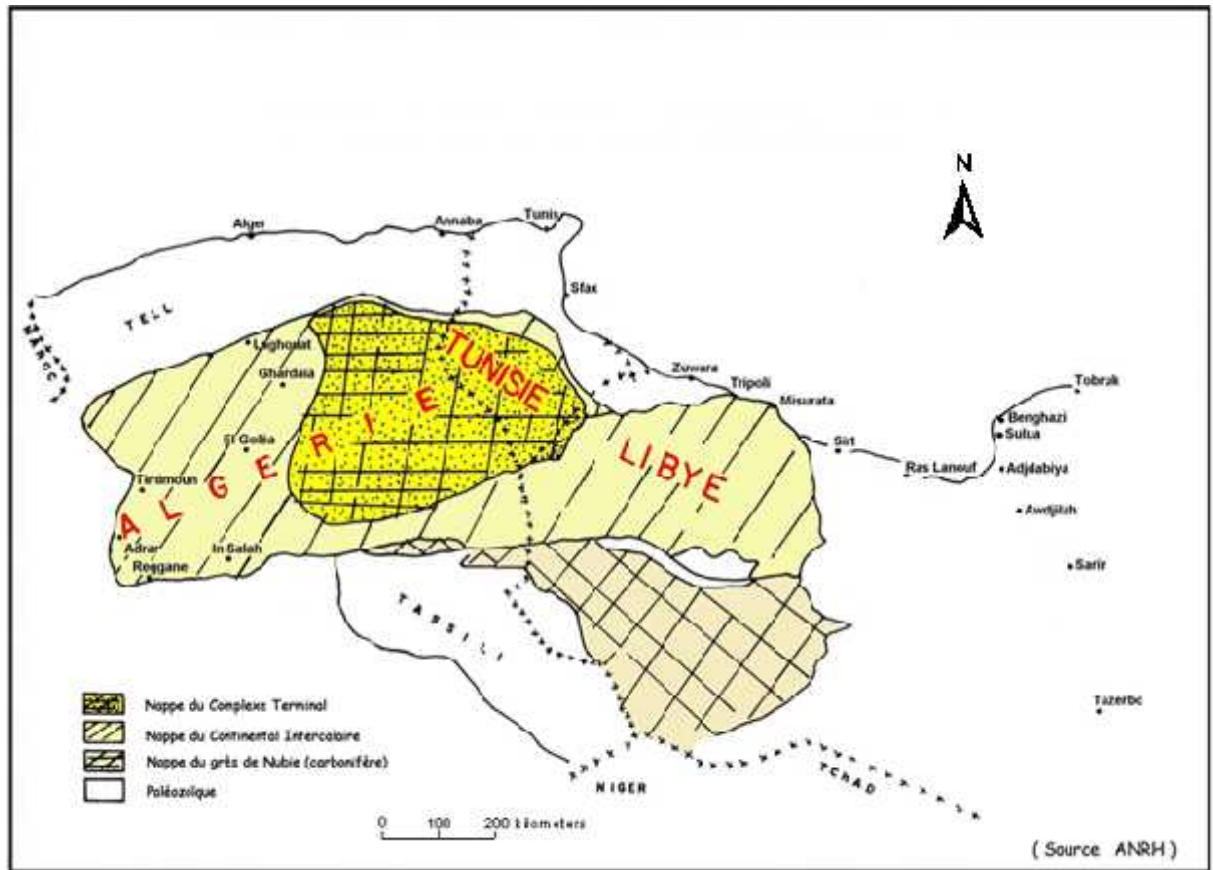


Figure.3. 1: Aquifères du Sahara septentrional, ANRH, (2004).

2.1.1. Limites et morphologie du Continental Intercalaire

Le continental intercalaire est limité au nord par l'Atlas saharien, à l'ouest par l'axe Béchar-Regagne et au sud par l'axe Regagne Ain Amenas (Figure3.1). A l'est, il se prolonge au-delà des frontières algéro-libyenne et algéro-tunisienne, il est partagé par la dorsale de M'Zab en deux bassins:

Le bassin occidental et oriental,

2.1.2. Les exutoires

Les zones d'exutoire de la nappe du continental intercalaire

- les foggaras du Touat-Gourara et du Tidikelt ;
- l'exutoire tunisien marqué par la faille d'El-Hamma ;
- l'exutoire libyen au niveau d'AinTawargha (Figure3. 5).

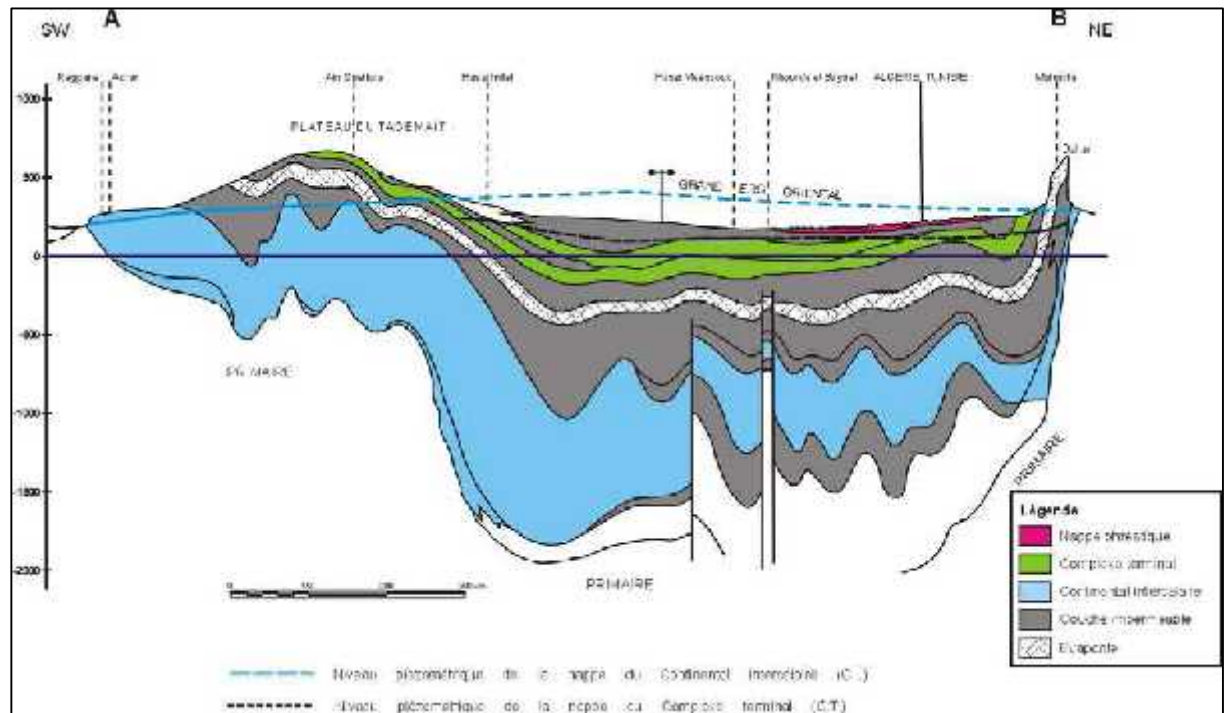


Figure.3. 2: Coupe hydrogéologique transversale du "CI" UNESCO, (1972)

2.1.3. Piézométrie

Des cartes piézométriques ont été établies par ERESS(1972), OSS, (2003) et font apparaître deux grands bassins sahariens séparés par la dorsale du M'Zâb. Sur la carte établie en 2003 (Figure 4) par l'OSS, il en ressort 3 domaines hydrogéologiques : le bas Sahara à écoulement d'Ouest en Est ; le grand erg occidental, le Touat-Gourara et le Tidikelt à écoulement du Nord vers le Sud et le Sud-ouest. Dans le bassin oriental, bassin en général artésien, avec des pressions d'artésianisme très fortes comprise entre 5 et 25 bars Guendouz, ;In CHABOUR, (1992-1995), des sens d'écoulement semble être du Nord-Ouest vers le Sud-Est pour être repris ensuite par un sens d'écoulement du Sud vers le Nord-est. Les eaux convergent vers l'exutoire tunisien par la faille de Médenine. (Figure3.3).

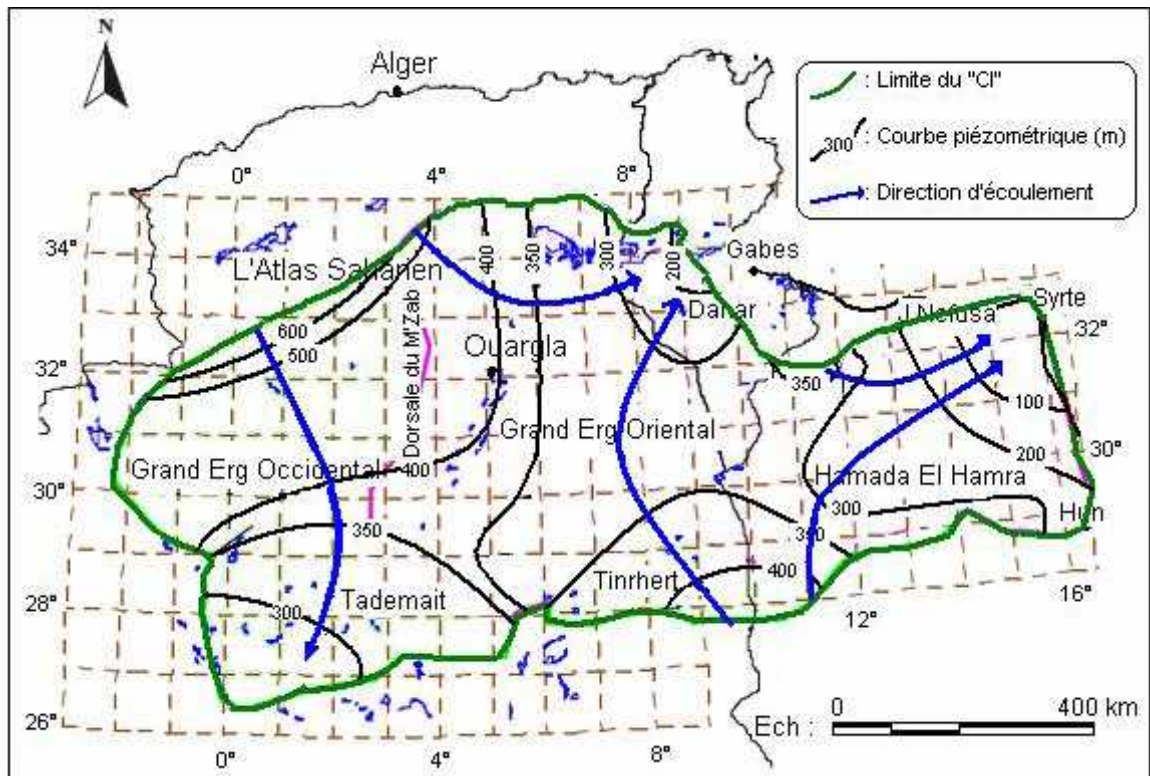


Figure.3. 3 : Carte piézométrique de référence du "CI" OSS, (2003)

A l'échelle de la cuvette d'Ouargla, la nappe albiennne est située à une profondeur de 1100 à 1400 mètres, avec une épaisseur utile près de 640 mètres, elle est jaillissante et exploitée par des forages destinés à l'A.E.P. et à l'irrigation Nezli, (2009)

Le débit exploité par forage est de 100 l/s, en moyenne. Le faciès lithologique (Figure 4) de la nappe albiennne dans la zone d'étude est formé d'un dépôt gréseux continental à ciment argileux ou carbonaté et des passées d'argiles, connu sur une épaisseur de 400 m en moyenne Nezli, (2009).

2.1.4. Caractéristiques:

- L'aquifère est de plus en plus profond vers le Nord-Est, où le toit de la nappe se trouve à 1500 à 2000m. Vers la périphérie, la nappe est ascendante peu profonde et à température moyenne.
- La nappe affleure dans les régions d'Adrar et de Aïn Salah. Les eaux sont chaudes au Nord-Est du bassin (la température moyenne est de 60° C). L'alimentation est faible, environ 268 M m³/an, grâce aux épandages des Oueds descendants de l'Atlas Saharien et à l'infiltration des pluies dans le grand erg occidental. En plus des foggaras et des forages qui sont les exutoires artificiels de la nappe albiennne, les eaux s'écoulent principalement vers le Sud et l'Ouest de la nappe où se trouvent les zones évaporatoires du Touat du Gourara et du Tidikelt. Une autre

direction d'écoulement se fait vers le Nord-Est, zone côtière tunisienne, à travers les failles d'El Hamma et de Médenine.

3.2. Nappe du complexe terminal:

Se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 Km² avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m.

Cette nappe regroupe deux systèmes d'aquifères, qui sont appelés nappe des sables et des calcaires.

Le CT est constitué, par des formations d'âge et de lithologie différents : à la base il y a le sénonien-éocène carbonaté et au sommet on trouve le Mio-Pliocène sablo argileux Khadraoui, (2007).

3.2.1. Limites et morphologie de la nappe du Complexe Terminal:

L'observation de la carte piézométrique de référence (à l'état stationnaire) du Complexe Terminal, établie, également, par OSS, (2003), sur la base des travaux de Projet UNESCO, (1972). Cette (Figure.3.1), montre que les zones d'alimentation de la nappe proviennent

de :

l'Atlas saharien au Nord-Ouest ;

- le Dahar à l'Est ;

-le J. Nafusa au Nord-Est ;

-le Tinrhert au Sud.

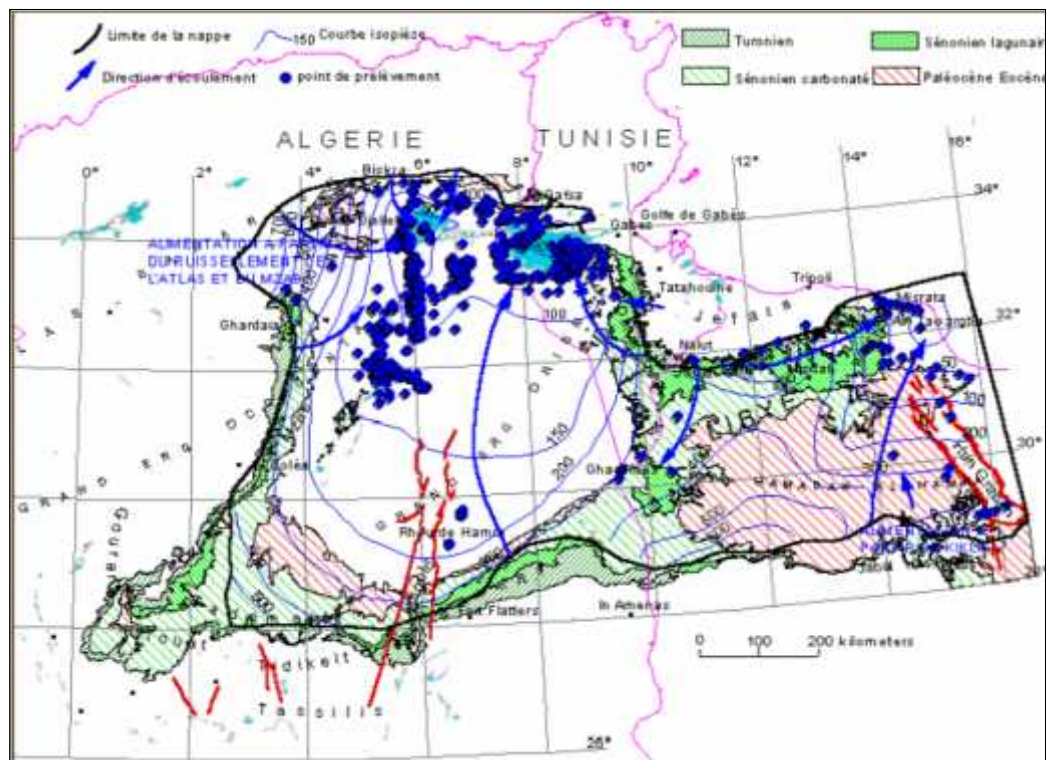


Figure.3. 4: Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal OSS, (2003)

3.2.2. Piézométrie de la nappe du complexe terminal (CT):

Depuis, plusieurs cartes ont été établies et réactualisées ERESS, (1972). La plus récente OSS, (2003), la carte (Figure.3.4) montre, comme pour la nappe du Continental Intercalaire, un écoulement qui se fait vers l'exutoire tunisien, situé dans la région de Tozeur.

Dans la partie Nord du Bas Sahara le sens d'écoulement est de L'Ouest (avec un niveau piézométrique d'environ 700 mètres au niveau de Laghouat) vers l'Est (où le niveau piézométrique atteint les 50 mètres au niveau de Tozeur). Un autre sens d'écoulement se fait du Sud vers le Nord.

3.2.3. Caractéristiques:

Artésianisme au centre.

Faible profondeur 100 à 400m.

L'alimentation est faible de l'ordre de 583 M m³/an. Elle s'effectue par infiltration du ruissellement de l'Atlas Saharien et par infiltration directe des pluies dans le Grand Erg Oriental qui repose directement sur les terrains perméables du Complexe Terminal.

3.2.4. Ecoulement et exutoire :

Les études d'UNESCO, (1972) montrent que le bassin Saharien oriental de la complexe terminal est caractérisé par un écoulement dirigé Sud –Nord convergeant vers les principaux exutoires qui sont (Figure.3. 5)

- Chott Melghir et chott Mérouane en Algérie ;
- Evaporation dans les vallées des anciens oueds (Oued Righ) ;
- Forage d'eau.

L'écoulement des eaux de la nappe du CT s'oriente vers les chotts du Sahara Oriental : Melrhir, en Algérie, Rharsa et Djérid en Tunisie. Alors que dans le bassin occidental les eaux de la nappe se mélangent avec celle du Continental Intercalaire UNESCO, (1972).

Le Mio-Plio-Quaternaire, de faciès sableux et argileux avec du gypse, renferme des nappes phréatiques héritées des périodes pluvieuses du pléistocène inférieur. Il résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts BUSSON, (1970). Le sens d'écoulement de ces nappes est orienté parallèlement avec celui de la nappe du complexe terminal (CT).

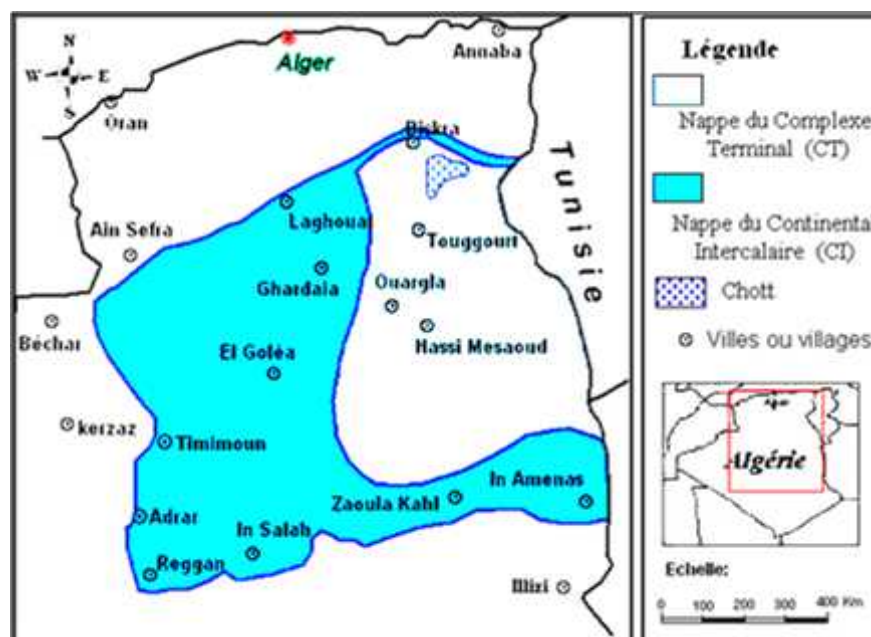


Figure.3. 5 : Extension géographique du système aquifère CI et CT UNESCO, (1972)

4. hydrogéologie de la région d'Ouargla:

4.1. Le complexe terminal à l'échelle de la cuvette:

Le système aquifère du complexe terminal à l'échelle de la cuvette est composée des formations litho stratigraphiques reconnues à l'échelle du bassin à savoir : (Guendouz a. et Moula)

- Les sables argileux du Mio-Pliocène.

-Les formations carbonatées du sénonien.

D'après l' ANRH 2010 , des centaines de forages ont été réalisées :

-123 forages exploités de Mio-Pliocène,

-28 forages exploités de Sénonien-Eocène

Dans la zone d'étude le CT est composé de deux nappes ANRH, (2004), In Nezli, (2009) :

-La nappe Sénono-Eocène : elle se situe entre 120 et 200 mètres en profondeur. Elle est formée de calcaires poreux à silex très coquilliers, gris jaunâtre, à intercalation de marnes blanches et dolomitiques.

-La nappe du sable Mio-Pliocène : elle a une profondeur allant de 20 à 100 mètres, elle est constituée de sables fins à grossiers graveleux, à intercalation de calcaires blancs tendres et ; marnes sableuses, d'argiles sableuses roses et passées de grès et de gypses.

5.Conclusion:

La Sahara algérien compose de grande réservoir des eaux souterraine .cette réservoir qui forme un deux aquifère : continentale intercalaire et complexe terminal .

Noter zone d'étude la nappe de continental intercalaire est caractérisé par une profondeur de 1100m à 1400m .cette nappe est exploitée par un débit de 100l/s

Le complexe terminal dans la zone d'étude est caractérisé par deux sous nappes a savoir :

-Le Sénoniens –éocène en profondeur 120 et 200 mètres ;

-Le Mio pliocène a une profondeur 20 à 100 mètres ;

L'écoulement de cette nappe Sud-ouest vers le Nord-est.

1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons présenter les étapes de notre travail commençant par la reconnaissance géologique et lithologique de la région d'étude par établissement des coupes lithostratigraphiques, ensuite, une analyse de quelques paramètres physico-chimiques des eaux en contact avec cette lithologie, afin de déterminer l'interaction eau/roche.

2. Carte d'emplacement des forages et direction de la coupe:

La carte ci-après montre l'emplacement des forages et la direction de la coupe qui les traverse, cette dernière a une direction (N-E ,S-W), les forages traversés sont ceux de Khechem Errih (F1,F2) et rouissat, Ain Lahdeb et Haoud Berkaoui (GLSW1, GLSW2, BKO6 , OKN641 BKHO1) (Figure.4.1)

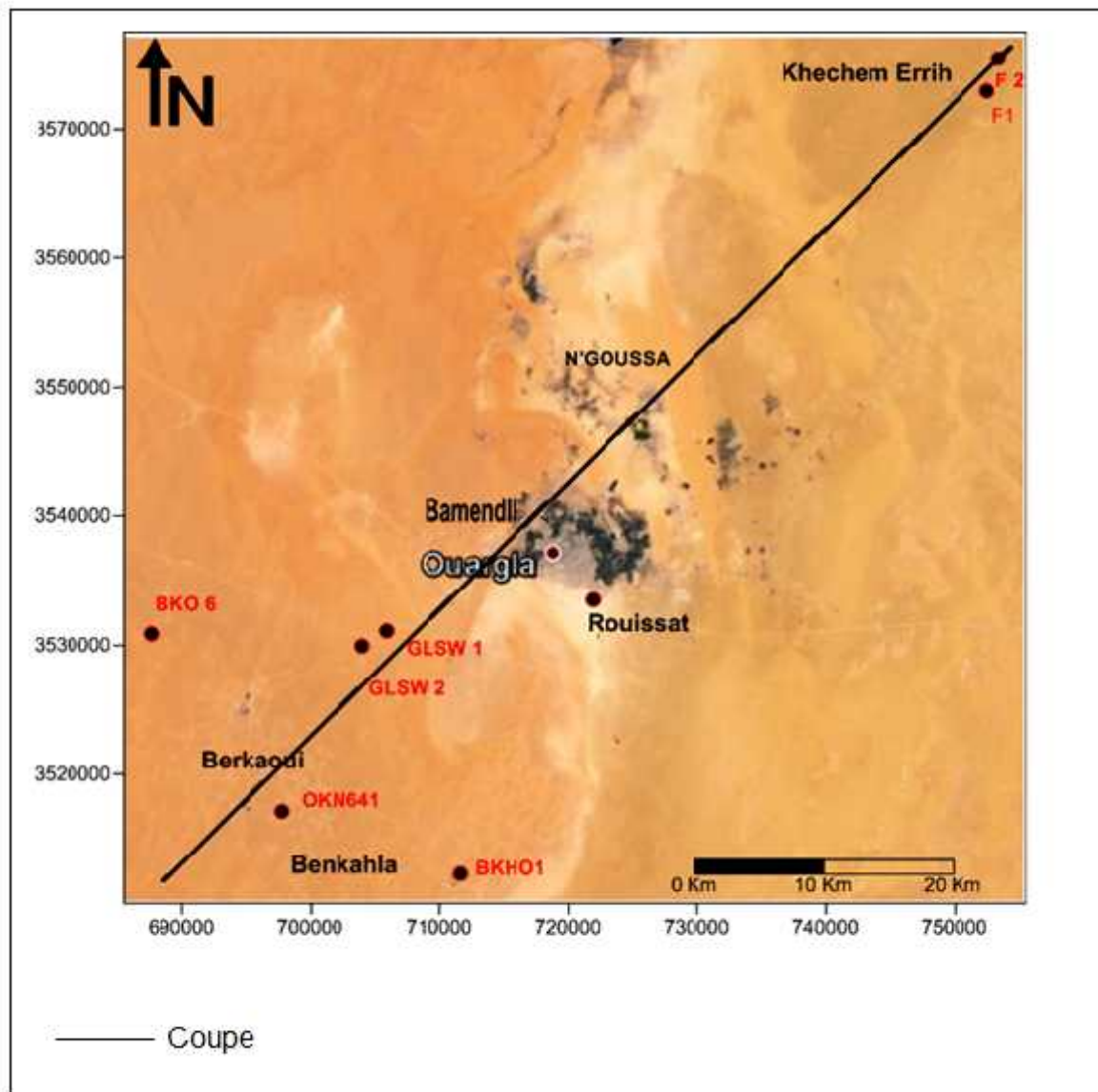


Figure.4.1. Carte d'emplacement des forages et direction de la coupe

3.Outil informatique:

3.1.RockWorks 15 :

Le logiciel RockWorks établis des logs et des coupes géologiques en introduisant les données des forages: la profondeur totale du forage, son altitude (Z), le toit et le mur de chaque couche, sa nature lithologique en prenant en considération les figurés conventionnels de chaque formation géologique (calcaire, marne, argile, sable...etc.), la stratigraphie si nous travaillons sur plusieurs étages (Albien, Cénomanién, Turonien...etc.)

Le logiciel Rock Works peut établir des corrélations entre plusieurs logs stratigraphiques et nous donne en suite des coupes géologiques significatives.

3.2.Statistica.v6.1:

Nous nous sommes servis de ce logiciel afin de déterminer les paramètres statistiques de nos données physicochimiques. Il s'agit de coefficient de corrélation, les valeurs max, min, ainsi que l'écart type. Une méthode de classification hiérarchique ascendante (CHA), a été réalisée par ce programme qui consiste à classer "**p**" variables, "**n**" observations, par construction d'une matrice de distances entre les variables et les observations. On définit ensuite une règle de calcul de distances entre les groupements disjoints de variables ou d'observations. Les deux groupements dont la distance est la plus faible (selon ce critère) se réunissent et on réitère le processus jusqu'au regroupement complet de classes (Saporta, 1990 in Nezli, 2009). On peut représenter la classification ascendante hiérarchique par un dendrogramme ou arbre de classification.

3.3.Surfer 9:

C'est avec ce logiciel qu'on a pu réaliser les cartes d'emplacements des échantillons et celles de l'évolution des paramètres étudiés. Après avoir introduit les données en un fichier Excel, on choisit la méthode d'interpolation convenable ; le Krigeage. Après la sélection de la méthode, on obtient des cartes de courbes de niveau (courbes d'isovaleurs) liant les points ayant les mêmes valeurs.

4.Conclusion:

Afin de concrétiser une étude se rapportant à l'hydrogéochimie de l'aquifère du Mio-Pliocène de la cuvette de Ouargla, nous avons repéré dans la mesure du possible le maximum des forages d'eau ayant une bonne répartition significative dans toute la région, ainsi que des données géologiques des rapports de fin de forage. Un travail de bureau a été effectué et a porté sur la reconnaissance géologique de la région et un certain nombre de paramètres physico-chimiques. Des

programmes informatiques ont été utilisés pour représenter les paramètres sus indiqués et en tirer des renseignements particuliers.

1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus après le traitement des données géologiques et les paramètres physico-chimiques des eaux.

L'objectif de ce chapitre est de mettre en relation les caractéristiques géologiques et lithologiques de notre zone d'étude avec les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux en utilisant la méthode des rapports caractéristiques dans le but de déterminer l'influence de la lithologie sur le chimisme des eaux.

2. Variation spatiales de la lithologie des formations aquifères:

Les résultats obtenus sont exposés sous forme de logs stratigraphiques et coupes géologiques traversant la région.

2.1. Forages à l'Albien et au Sénono-Eocène:

2.1.1. Région de Khechem Errih:

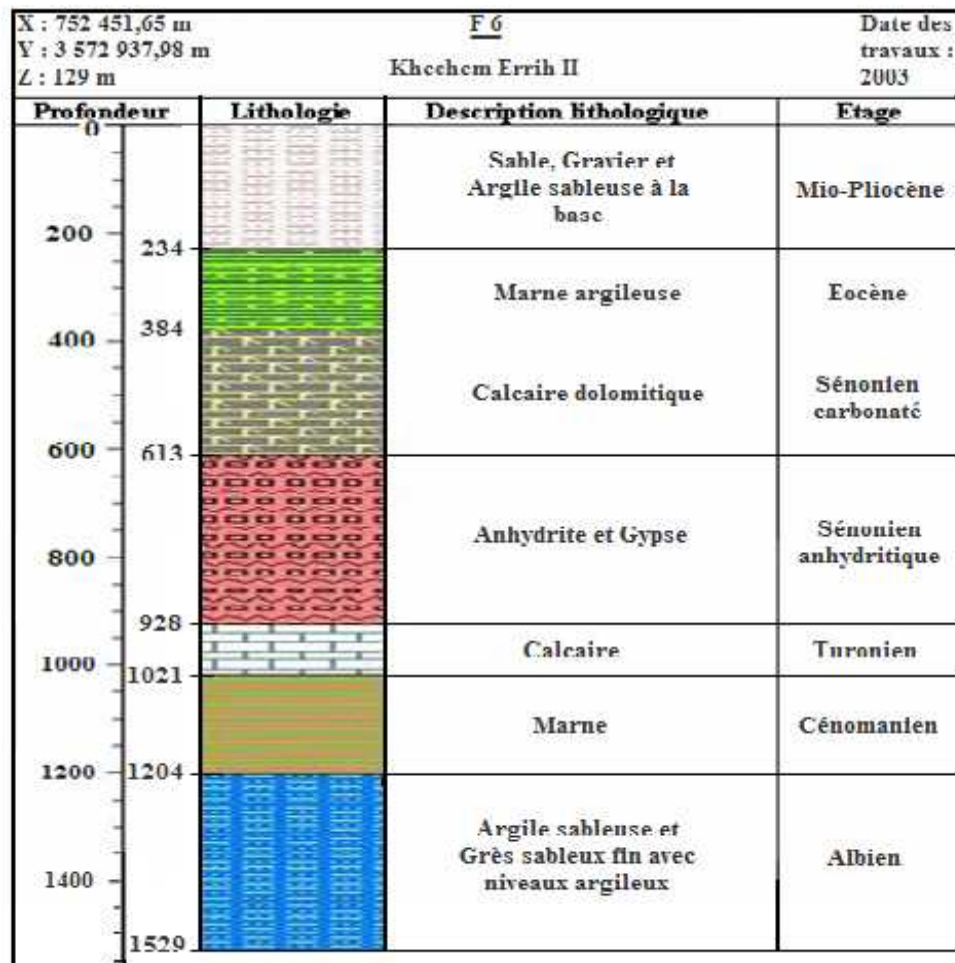


Figure.5. 1 : Colonne stratigraphique du forage F6 (Khechem Errih). HOUARI I M.(2009)

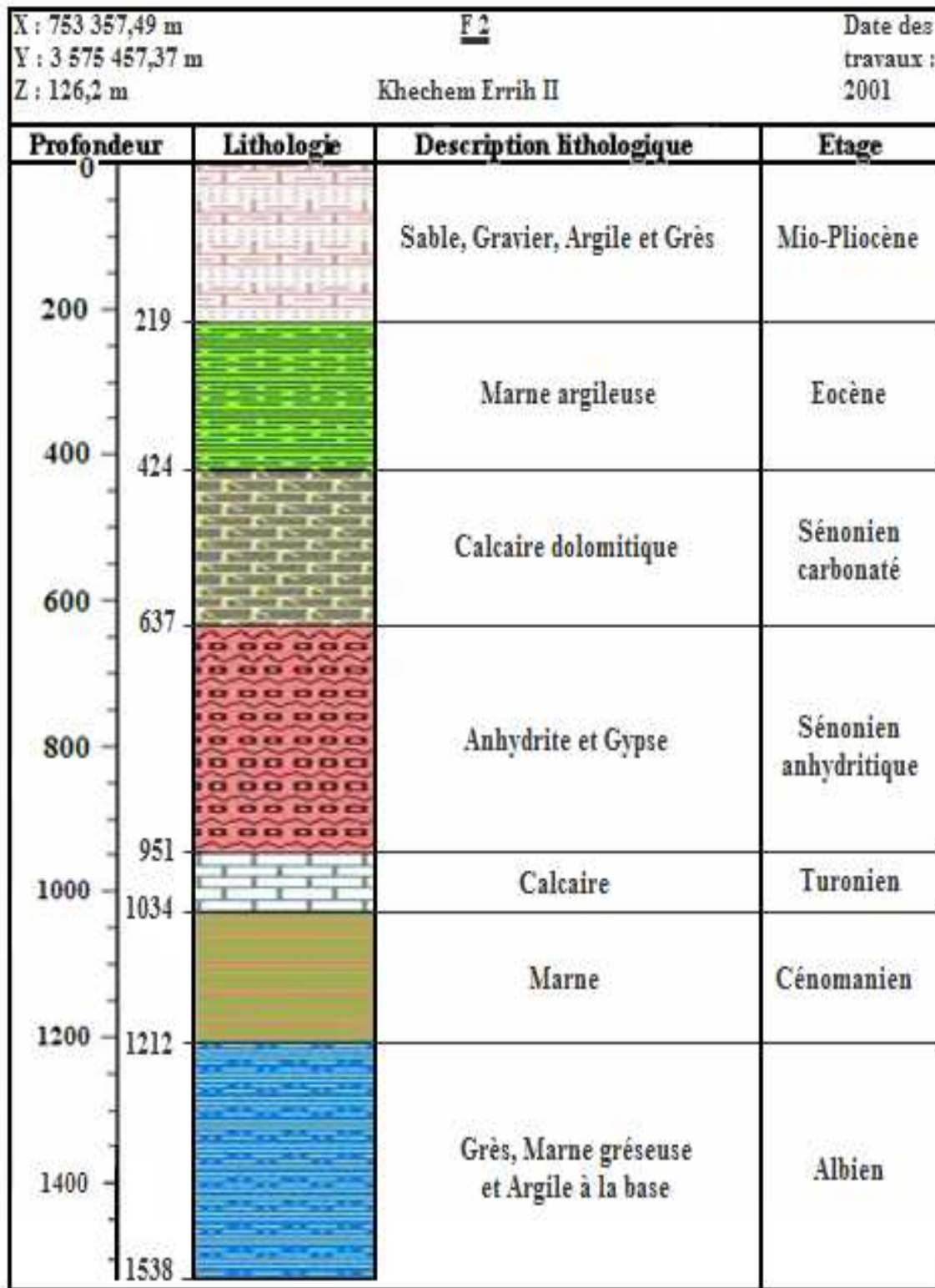


Figure.5. 2 : Colonne stratigraphique du forage F2 (Khechem Errih) . HOUARI I M.(2009)

2.1.2.Région de Haoud Berkaoui (Sud):

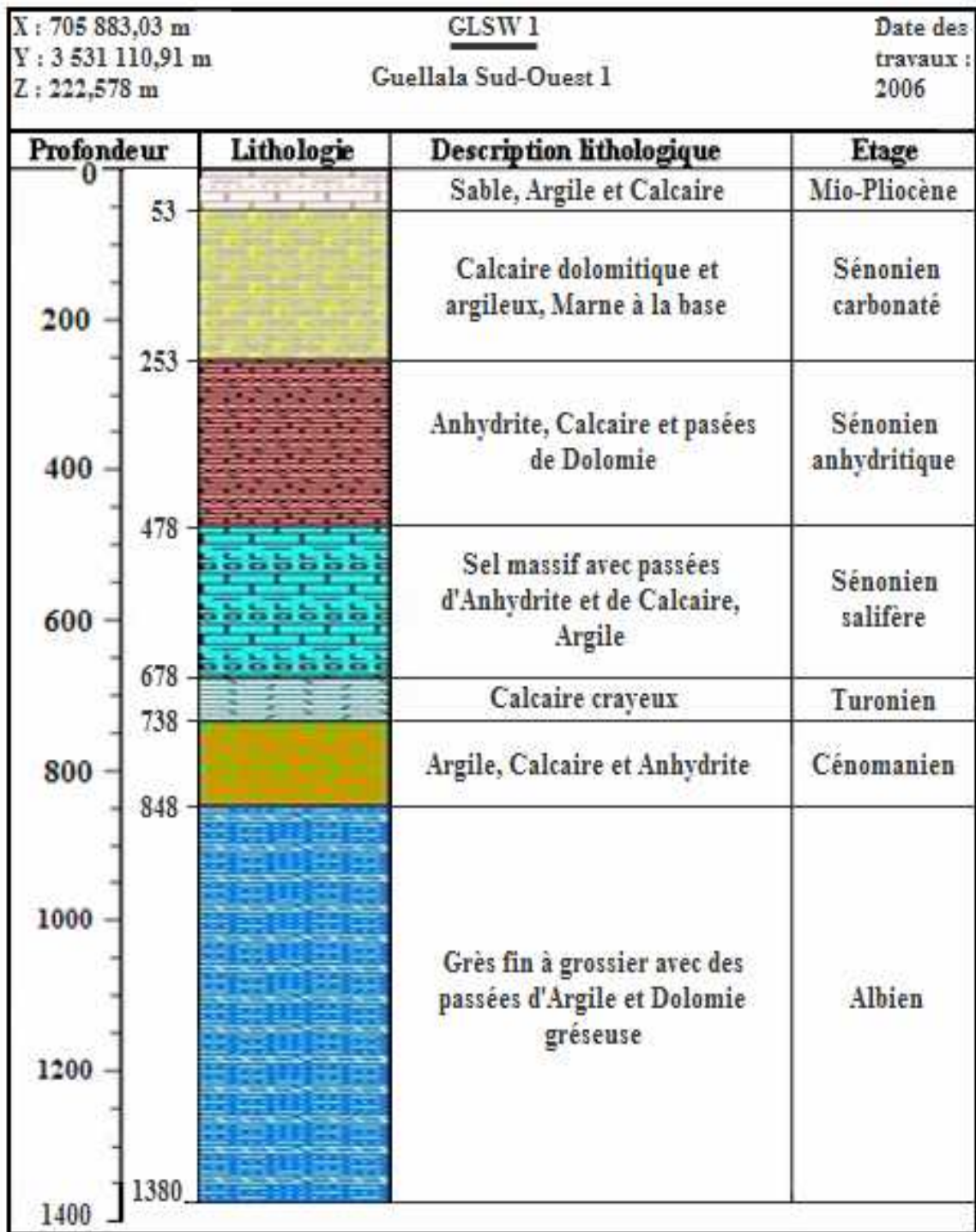


Figure.5. 3 :Colonne stratigraphique du forage GLSW 1. HOUARI I M.(2009)

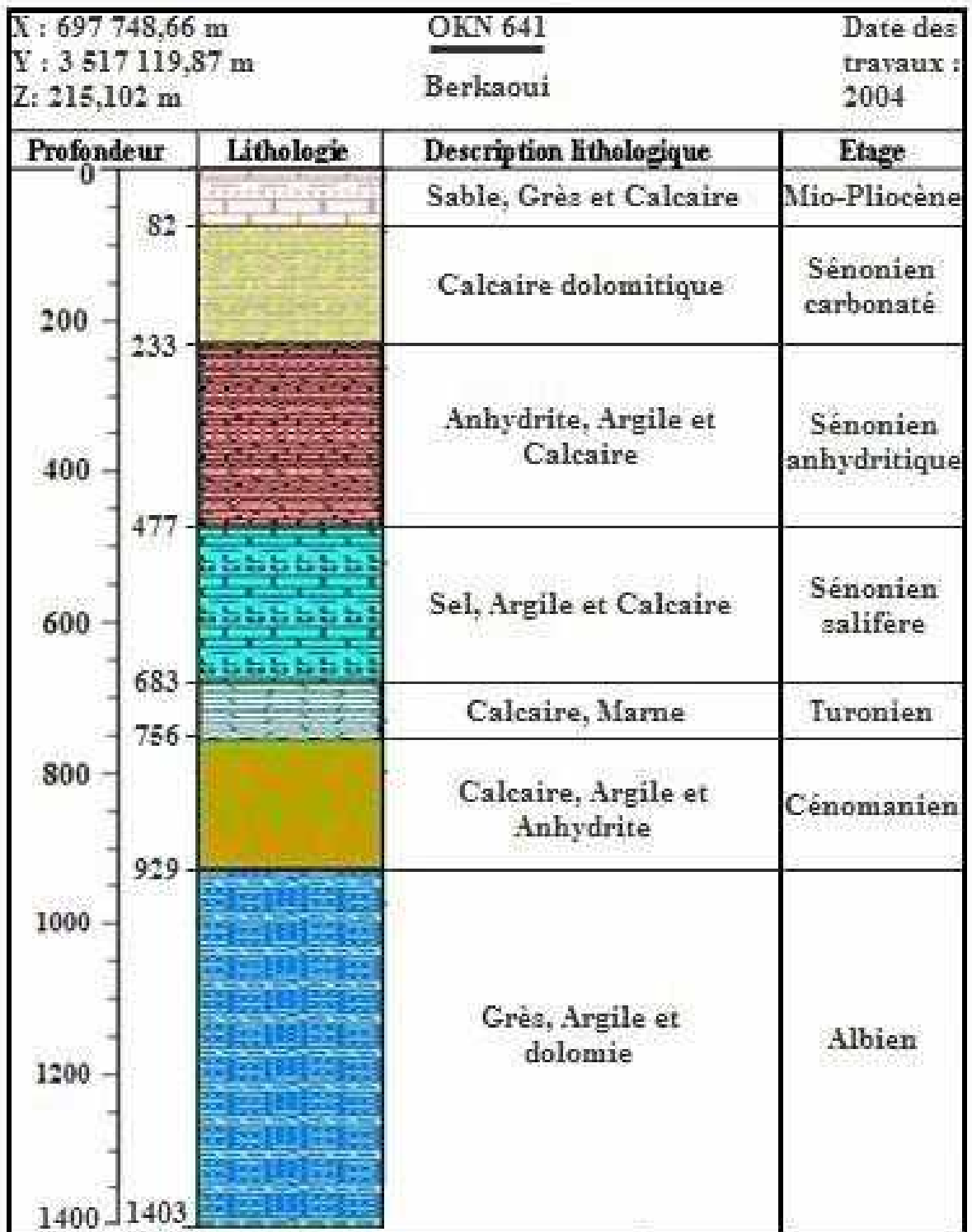


Figure.5. 4 : Colonne stratigraphique du forage OKN 641. HOUARI I M.(2009)

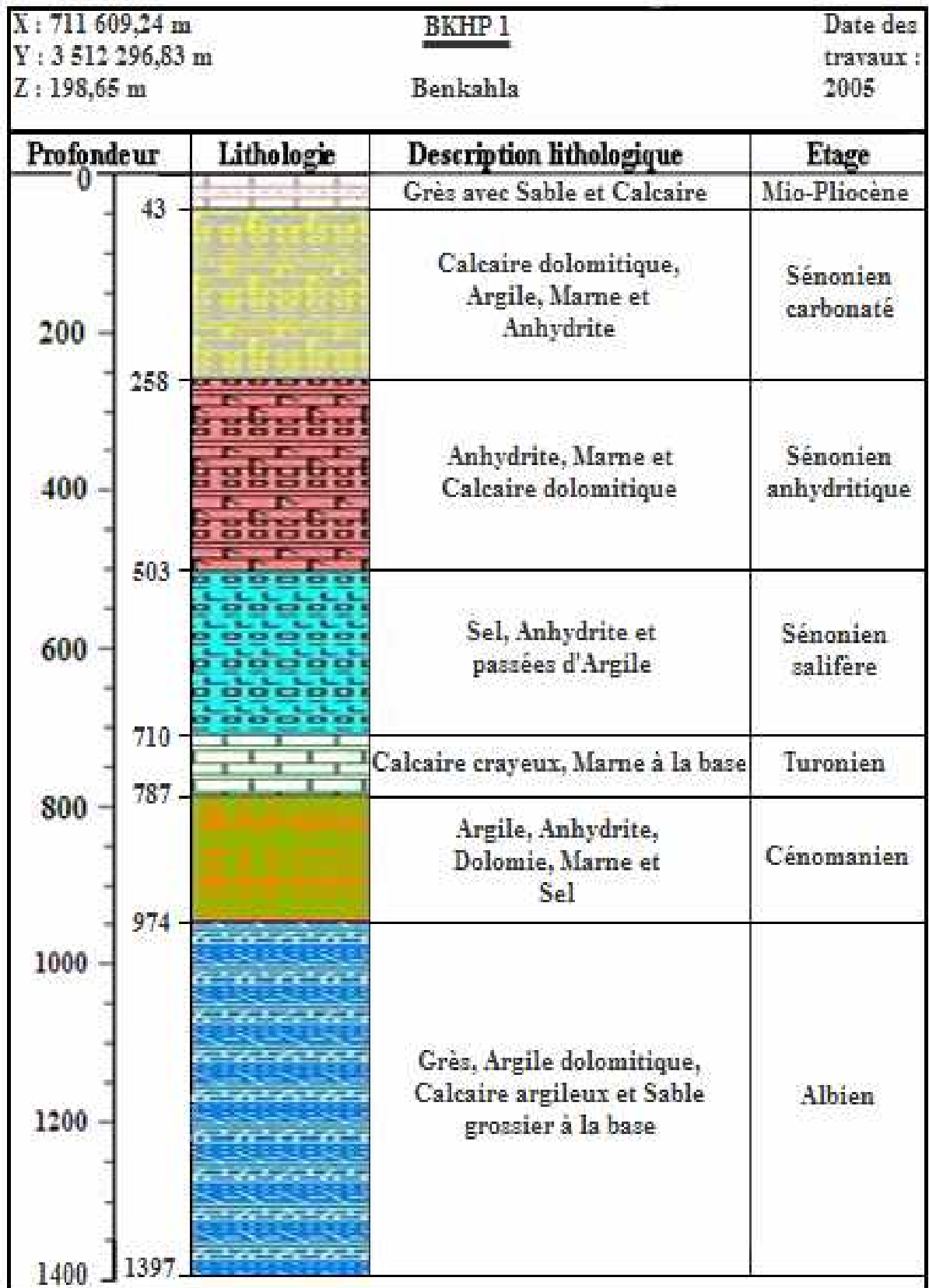


Figure.5. 5 : Colonne stratigraphique du forage BKHP 1. HOUARI I M.(2009)

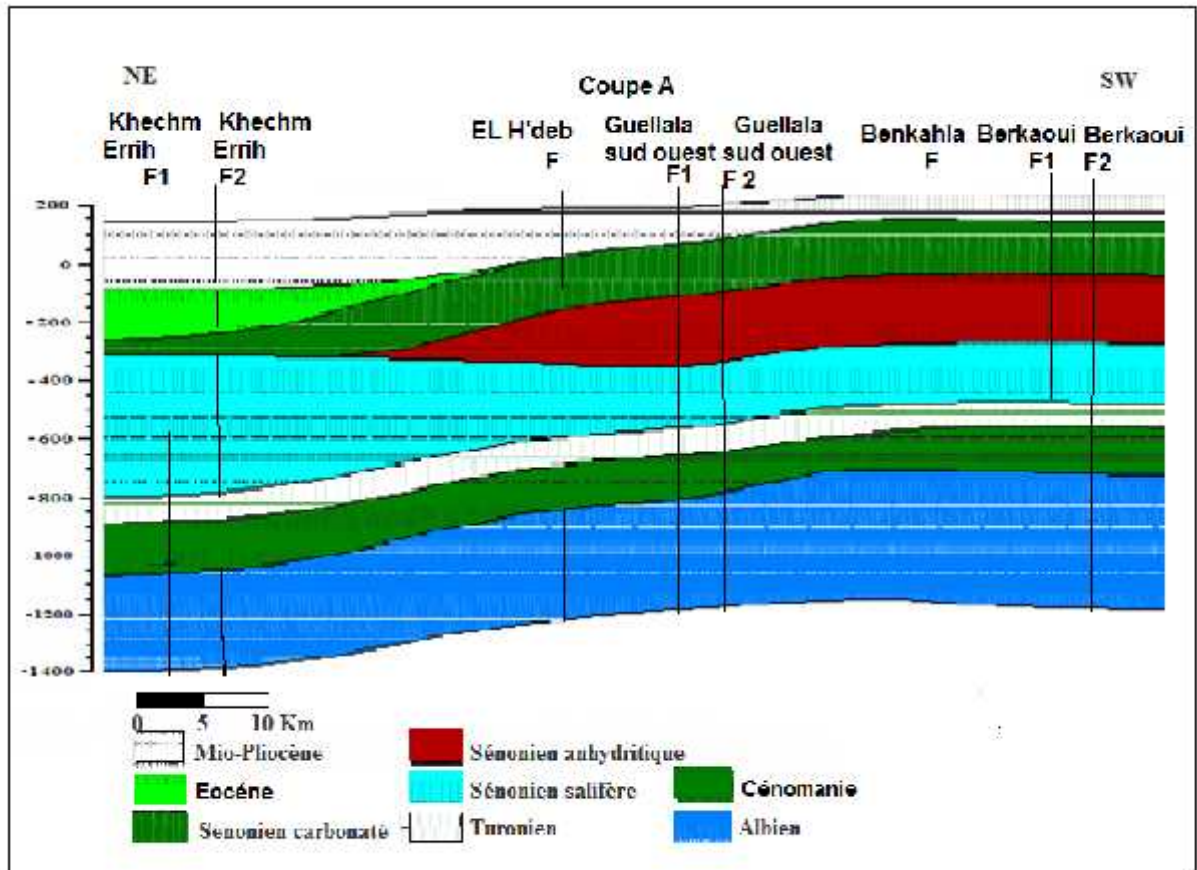


Figure.5. 6: Coupe géologique synthétique de la cuvette de Ouargla

Le phénomène le plus remarquable en analysant cette coupe est l'apparition de l'Eocène au nord de notre zone d'étude et la disparition du Sénonien anhydritique vers le Nord, la géométrie des aquifères reste presque la même que celle de la région Sud (sauf le Mio-Pliocène qui augmente en matière d'épaisseur), les limites sont également les mêmes et la lithologie ne présente que de petits changements.

La région d'El Hadeb se situe presque au centre de notre zone d'étude, la lithologie y présente un événement particulier; il s'agit de l'apparition de l'étage Eocène qui était absent au Sud (Berkaoui), il est caractérisé par des marnes, de l'anhydrite et parfois des sables au sommet, dit Eocène évaporitique (Lutétien), et des calcaires et des dolomies à la base, dit Eocène carbonaté (Yprésien). L'Eocène de la région d'El Hadeb a une épaisseur relativement faible (63 m). Busson (1972) voit que la cause de cette apparition s'explique par un passage latéral vers des formations argilo-gréseuses datées d'âge Mio-Pliocène.

Autrement, on remarque presque les mêmes caractéristiques géologiques de la région Sud (même épaisseurs, même lithologie...etc.).

En allant toujours vers le Nord, vers Khechem Errih, des changements remarquables rencontrés,, la première chose à citer c'est l'augmentation de l'épaisseur du Mio-Pliocène (de 50-80 m au Sud et au centre vers 200 m au Nord), même chose pour l'Eocène (de 60 m au centre vers 200 m au Nord). Mais la chose la plus importante est la disparition totale du Sénonien salifère. (Busson) a donné aussi une explication à ce phénomène; le sel est passé latéralement à un autre constituant (l'Anhydrite dans notre région), autre hypothèse: soit que le sel ne se soit jamais déposé, soit qu'il ait été érodé peu après son dépôt.

2.2.Forages mio-pliocènes:

A cause de la grande hétérogénéité des terrains mio-pliocènes de la région, on va développer la géologie en nous basant sur des données de quatre forages couvrant la zone d'étude du Nord au Sud, ce sont: 816-J 10 (Debbiche), 818-J 10 (Rouissat), 601-J 10 (Ain Lahdeb) et 652- J 10 (Ain Zaccar).

2.2.1- Région de Ain Zaccar (Sud):

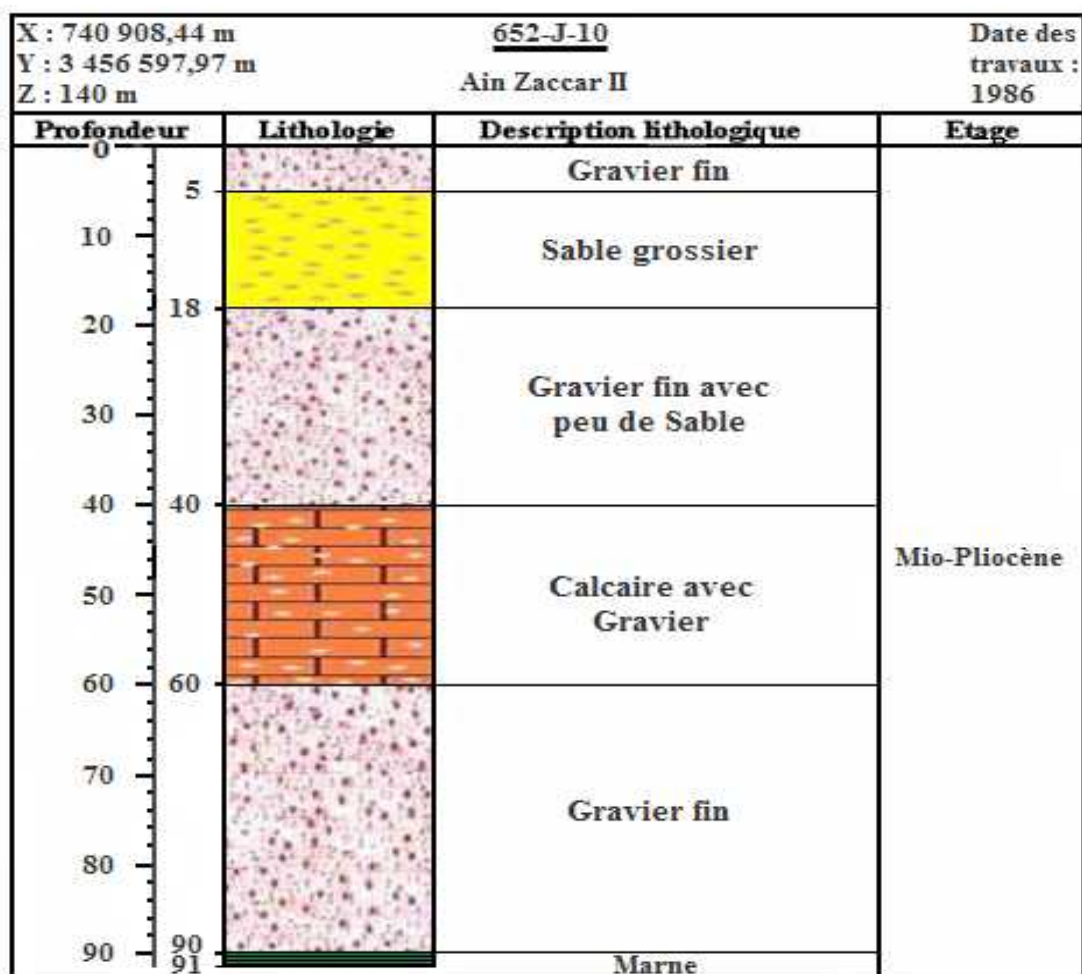


Figure.5. 7 :Colonne stratigraphique du forage 652-J 10 (Ain Zaccar) . HOUARI I M.(2009)

Ain Zaccar se situe au Sud de la cuvette de Ouargla, sa géologie est caractérisée par l'abondance des sables et des graviers, parfois on trouve des bancs calcaires et quelques passées de marne. L'épaisseur totale est de l'ordre de 91 m.

2.2.2.Région de Rouissat et Ain Lahdeb (centre):

X : 724 446,87 m Y : 3 528 211,39 m Z : 148 m		<u>818-J-10</u> Rouissat		Date des travaux : 1988
Profondeur	Lithologie	Description lithologique	Etage	
0			Mio-Pliocène	
10		Grès et Sable à passées de Gypse		
20	19	Sable fin et Grès dur à la base		
N.S → 25				
30				
40	41	Grès gypseux à silex		
50	52	Argile et passées de Marne		
	55	Grès gypseux à Marne		
60	58	Grès à passées de Marne		
70	64	Gravier et Sable hétérogène de granulométrie différente		
80				
90				
96				

Figure.5. 8 :Colonne stratigraphique du forage 818-J 10 (Rouissat) . HOUARI I M.(2009)

La région de Rouissat (centre de la zone d'étude) est caractérisée aussi par l'abondance des grès et sables avec des passées de marnes et d'argiles. L'épaisseur est de l'ordre de 96 m.

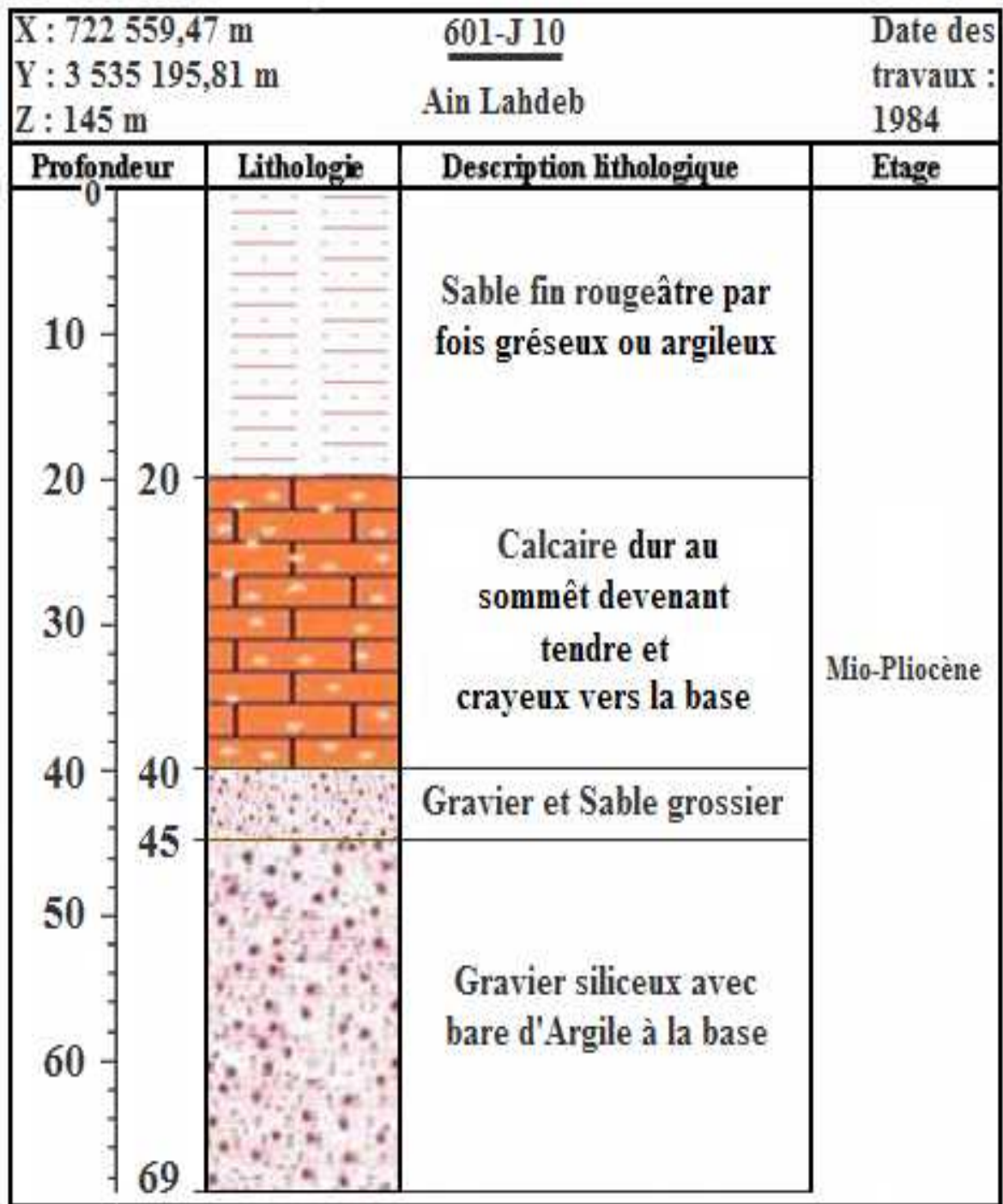


Figure.5. 9:Colonne stratigraphique du forage 610-J 10 (Ain Lahdeb) . HOUARI I M.(2009)

Cette colonne stratigraphique confirme clairement l'hétérogénéité du Mio-Pliocènes de la cuvette de Ouargla, on y trouve les sables et les graviers en majorité avec un banc calcaire d'épaisseur de 20 m et des passées d'argile. L'épaisseur totale est de l'ordre de 69 m.

2.2.3. Région de Hassi Debbiche (Nord):

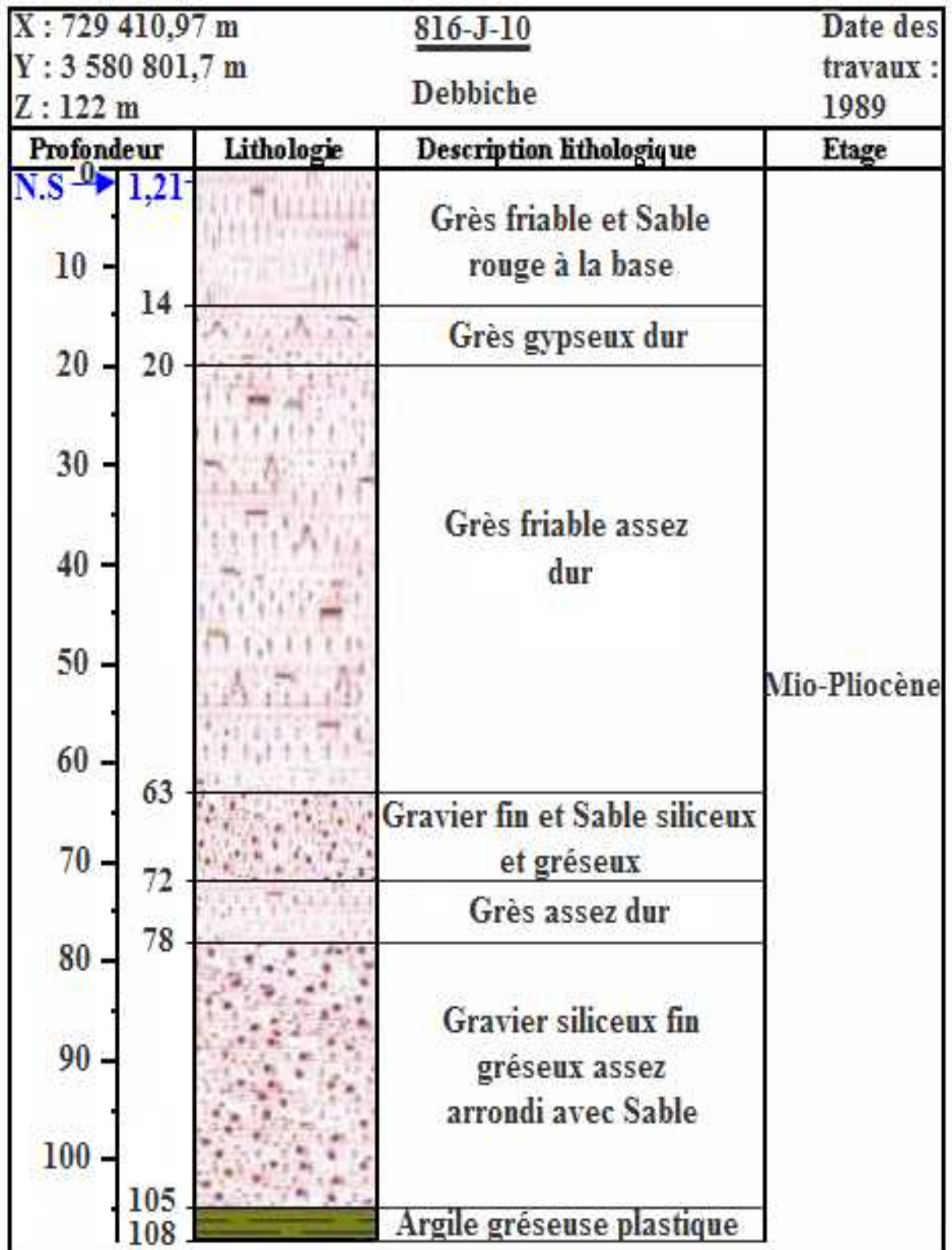


Figure.5. 10:Colonne stratigraphique du forage 816-J 10 (Debbiche) . HOUARI I M.(2009)

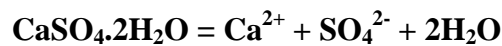
Le Mio-Pliocène de la région de Debbiche (Nord de Ouargla), comme le montre la colonne stratigraphique ci dessus, est caractérisée par l'abondance des grès, parfois gypseux, durs ou friables versicolores, la présence des sables et des graviers siliceux et gréseux avec quelquefois des passées d'argile. L'épaisseur du Mio-Pliocène de cette région atteint 108 m.

3. Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux:

Selon les études antérieures (Guendouz et al, 2003 ; Bouchahem et al, 2008 ; Nezli, 2009, Houari, 2012) effectuées sur les eaux de la nappe du CT à l'échelle locale et régionale, la température des eaux du Mio-Pliocène de la région de Ouargla est de l'ordre de 20,5° à 28,6° C, ces variations ne sont pas contrôlées par la profondeur, mais plutôt par la température de l'air et les saisons.

Les eaux sont alcalines bicarbonatées (pH < 8,3), très dures, et affichent des minéralisations excessives, exprimées par des conductivités électriques oscillant entre 2000 et 6000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, et allant jusqu'à 8000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ dans les cas les plus exceptionnels, la minéralisation augmente du Sud vers le Nord selon la direction d'écoulement. De telles minéralisations sont dues principalement à la richesse de la lithologie des formations par les évaporites (Halite, Gypse, etc...). En effet, les eaux lors de leur écoulement, à partir des zones d'alimentation, vers l'exutoire, se chargent, de plus en plus, par les éléments : Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , et Mg^{2+} , et acquièrent, par conséquent, un faciès anionique, exclusivement, chloruré et/ ou sulfaté.

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation :



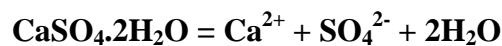
L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de la Halite (NaCl), qui se fait selon la relation suivante :



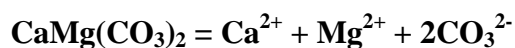
La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire. dolomite....etc.) par des eaux chargées en gaz carbonique. L'équation de dissolution est donnée comme suit :



La présence des ions Ca^{2+} dans les eaux est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) ainsi que les formations gypseuses (CaSO_4) selon les équations suivantes :



Cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium en l'occurrence ; la Dolomite selon la relation suivante :



Il provient, essentiellement, des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl), ou par suite d'altération des argiles potassiques.



Tableau.5. 1 : - Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux

	pH	T° C	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Max	7.96	30.2	8340	1500	2790.3	304	35.85	360	252	1460	82
Moyenne	7.39	25.7	4718.4	1053	1213.02	176.16	21.67	250.02	152.99	677.77	36.24
Min	7	21.9	2750	700	461.5	76.25	12.39	160	72	222	8.5

4. Origine des éléments chimiques:

4.1- Origine des chlorures et du sodium:

Le graphique (Figure5.11) montre un alignement des points. Le sodium et les chlorures doivent avoir la même origine, en l'occurrence, la dissolution de la halite.

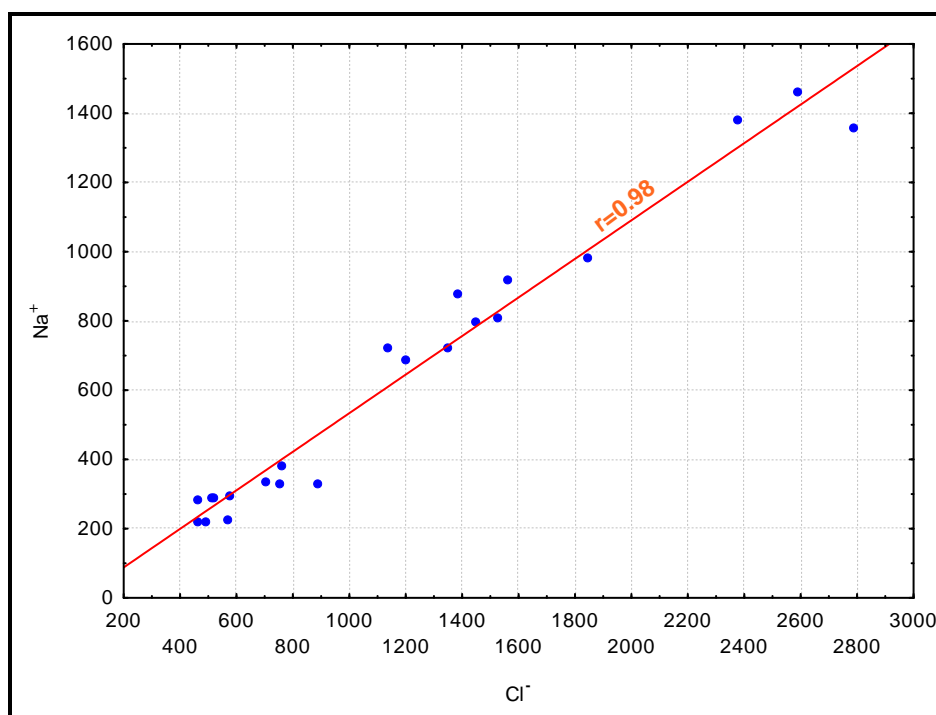


Figure.5.11 : La relation Cl vs Na

4.2. Origine des sulfates, du magnésium:

Pour les sulfates, les roches évaporitiques (gypse, anhydrite, epsomite ... etc.) sont, sans doute, à l'origine de cet élément dans les eaux de notre région d'étude, mais pour le magnésium, les carbonates contribuent aussi à son enrichissement dans les eaux (Figure5.12).

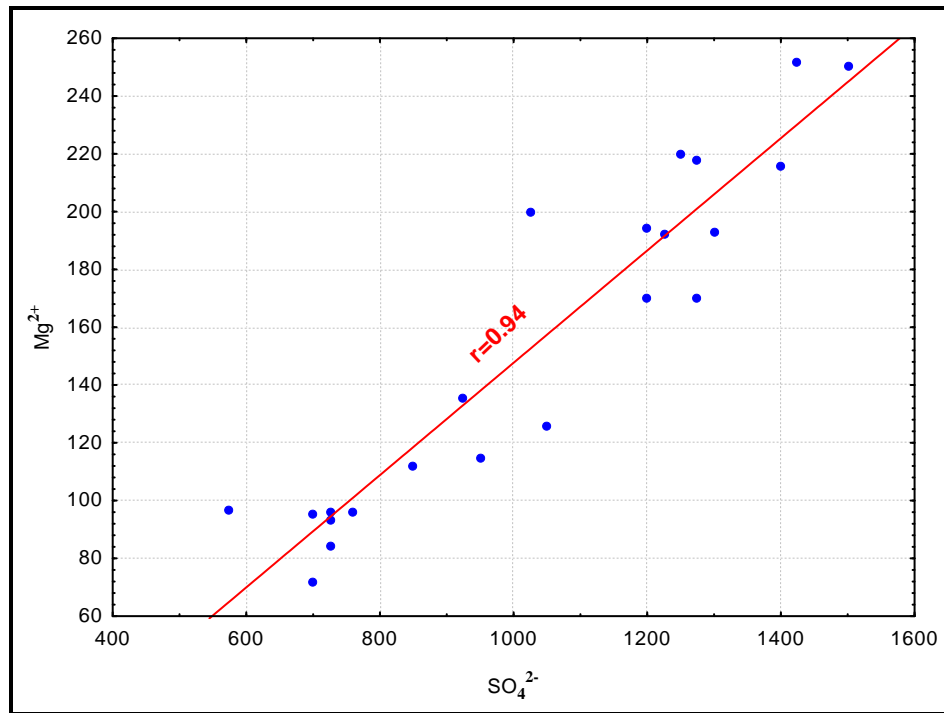


Figure.5.12 : La relation SO_4^{2-} et Mg

4.3. Origine du calcium Ca^{2+} :

L'origine du calcium est en majorité, la dissolution des roches gypseuses par simple lessivage, ou des roches calcaires par l'attaque par le CO_2 dissous (acide carbonique) (Figure5. 13).

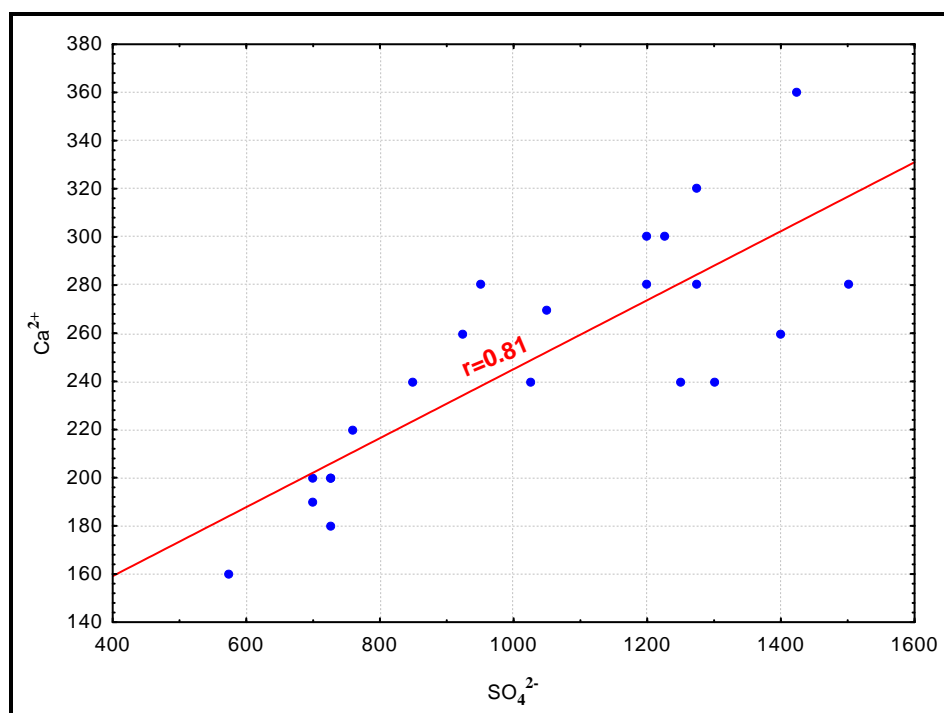


Figure 5. 13 : La relation SO_4^{2-} et Ca

Le diagramme dans la figure (Figure5. 4) montre une grande dispersion des points. Ce qui indique une évolution séparée des bicarbonates et du calcium, donc ce dernier doit évoluer avec un autre élément supposé être le sulfate dont le diagramme dans la(figure5. 14) le prouve parfaitement.

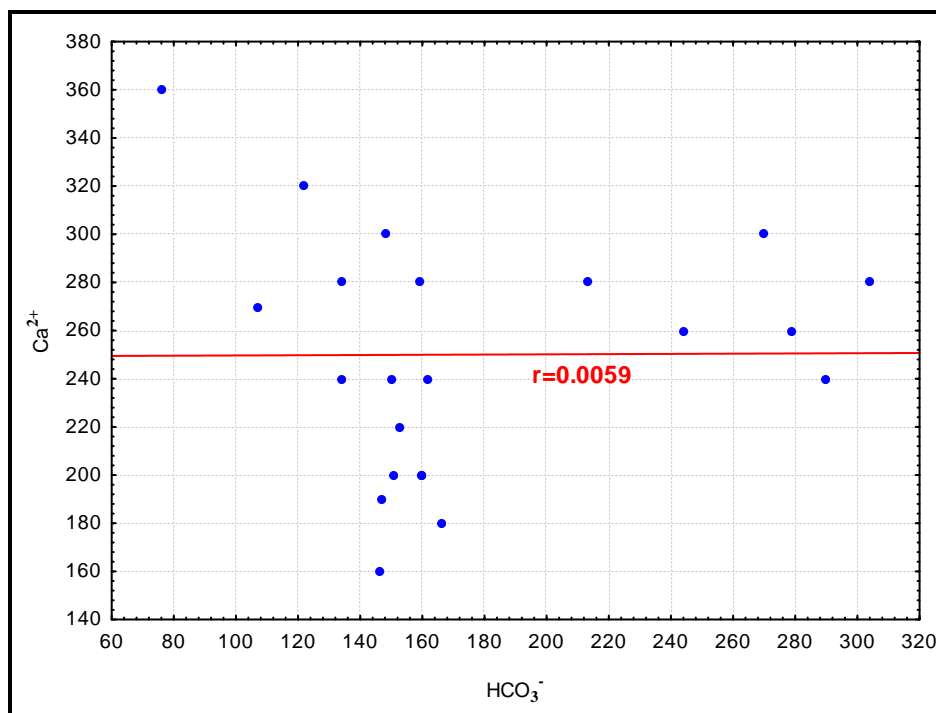


Figure.5. 14: La relation Ca^{+2} et HCO_3^-

4.4.- Origine du potassium et des bicarbonates:

Les valeurs de potassium dans les eaux étudiées n'évoluent pas le long du sens d'écoulement, mais c'est bien de montrer que son origine ne peut pas être liée seulement à la dissolution de la sylvite (KCl) et des argiles potassiques, mais aussi à l'infiltration des eaux d'irrigation chargées en potassium provenant des engrais du type (NPK).

Pour les bicarbonates, et par leur faible vitesse d'évolution dans les eaux, on peut confirmer que leur origine est due essentiellement aux formations carbonatées ayant de faibles degrés de solubilité.

5. Conclusion:

Les eaux du Mio-Pliocène, en contact avec une lithologie riche en évaporites révèlent une minéralisation excessive, exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées, oscillant dans la plupart des cas, entre 3030 et 8300 $\mu S.cm^{-1}$. Des teneurs notables et variables en éléments minéraux ont été observées.

En effet, les concentrations en sodium, en chlorure, en calcium et en sulfate sont bien corrélées (Ca vs SO_4 : $r = 0,81$), (Na vs Cl : $r = 0,98$).

La participation des ions évaporitiques dans la minéralisation totale des eaux résulterait d'une éventuelle dissolution de la halite et du gypse et de l'anhydrite.

Conclusion générale

La région du Ouargla fait partie du grand Sahara septentrional, elle est caractérisée par un climat désertique aride avec des températures extrêmes en été (plus de 50 °C) et des précipitations faibles, inférieures à l'évaporation potentielle annuelle. Cependant, ces précipitations demeurent négligeables par rapport à l'exploitation excessive des nappes souterraines. Du fait de la rareté de ces précipitations, l'écoulement des Oueds de la région reste irrégulier. La topographie est relativement plane, le paysage général se manifeste par des dunes de sable, des regs, des hamadas et des chotts et sebkhas.

Géologiquement, notre région est composée de deux unités structurales ; le socle précambrien composé de roches éruptives et métamorphiques, surmonté par des milliers de mètres de couches sédimentaires allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire, géostructuralement, le Mio-Pliocène qui fait l'objet de notre étude, n'est pas affecté par des accidents tectoniques à l'instar du reste de la série sédimentaire sous-jacente du Sahara septentrional, la lithologie y est très variée et hétérogène, on a constaté l'abondance des formations évaporitiques (gypse et anhydrite) et argileuses, avec quelquefois des carbonates.

Du point de vue hydrogéologique, le Complexe Terminal (CT) s'étale sur une surface de 350 000 km² et couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sa puissance moyenne est de 300 m environ.

Les eaux de la nappe du Mio-Pliocène de notre zone d'étude sont en contact avec une lithologie riche en évaporites, révèlent une forte minéralisation exprimées par des valeurs de conductivité électrique très élevées (8340 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), les concentrations en éléments chimiques dépassent les normes de l'OMS et augmentent également le long du sens d'écoulement des eaux. Le faciès chimique des eaux de la nappe du Mio-Pliocène au niveau de la région de Ouargla est chloruré, indiquant l'influence de la matrice halite. L'influence anthropique ne peut être négligée, des apports en nitrates et en potassium ont gagné les eaux de la nappe souterraine par infiltration. Cependant, les cations et les anions majeurs doivent donc avoir leur origine du fait de la dissolution des formations évaporitiques les plus solubles telles que l'halite, le gypse et l'anhydrite. Par contre, les carbonates sont moins solubles et leur apport en éléments chimiques dans les eaux de la nappe reste moins important.

ALIEV M., (1972). Structures géologiques et perspectives en pétrole et en gaz au Sahara algérien. (Tome 1) SONATRACH -Alger, 275p.

ANRH (2004) : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la Wilaya de Ouargla. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Ouargla, Algérie.

BELLAOUEUR.A.(2008) : étude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de solutions palliatives (Sahara nord-est septentrional - Algérie) .mémoire de majes ter , université de Batna.,147p.

Bonard & Gardel (BG) .(2004) :Etude d'assainissement des eaux résiduaires ,pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission on II, rapport final, 110p.

BUSSON. G. (1970) : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données
Caractérisation - Contraintes et Propositions d'aménagement. 137p.

CHABOUR. N (2006) : Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. Thèse de doctorat, Université De Constantine.

CARNET A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géographie Physique et Géologie Dynamique Vol.VI. fascl.,5-72 pp.

des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides »,

DJIDEL.M.(2008) Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie), Thèse Doctorat, UNIVERSITE –ANNABA,2008.

DUTIL, P. (1971). Contribution à l'étude des sols et des paléosols sahariens. Thèse d'état de l'Université de Starsbourg, 345 p.

ERESS. (1972) : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.

GUENDOUZ A. et MOULA. A.S (1992-1995) - Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla 1er rapport interne 1992 et 2ème rapport interne 1995 CDTN/DDHL- ALGER, 30p-60p.

HAMDI-AÏSSA, Belhadj. (2001). Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord-Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 283p.

HOUARI I M. et SALMI M. (2009) : Reconnaissance géologique des formations aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (Région de Ouargla), mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, 81p.

I M. et SALMI M. (2009) : Reconnaissance géologique des formations aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (Région de Ouargla), mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, 81p.

Khadraoui . A. 2007. Sols et Hydraulique Agricole dans les Oasis Algériennes:

KILIAN. C. (1931) : Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.

NEZLI. IE. (2009) : Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla) thèse doctorat ,Université de Beskra, 144p.

ONM (2010) : Bulletin climatologique de la station de Ouargla. Service archives. Ouargla, Algérie.

ONM (2010) : Bulletin climatologique de la station de Ouargla. Service archives. Ouargla, Algérie.

OSS (2003) : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Observatoire du Sahara et du Sahel.

résultats du projet, UNESCO, Paris.

SONATRACH et SCHLUMBERGER (1990) : Géologie de l'Algérie. Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement, 93p.

UNESCO. (1972). Projet ERESS. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris. 100 p.

تتمثل مخزونات المياه الجوفية على مستوى الصحراء الشمالية في طبقتين كبيرتين : المتداخل القاري والمركب النهائي. تعرف مياه هاذين النظامين برداءة نوعيتها الكيميائية والتي تتميز بتراكيز معدنية عالية وقساوة كبيرة. يهدف هذا العمل الى متابعة التطور الهيدروجيوكيميائية لمياه الطبقة الرملية للميولبوسان المنتمية لنظام المركب النهائي بداية من المنطلق ووصولاً الى المصب، وذلك بالبحث عن العلاقة الموجودة بين التركيبة الكيميائية للمياه وطبيعة الصخور التي تحتويها. النتائج المحصل عليها تبين رية التي تعطي الماء تمعدن المفرط التركيزات العالية من الكبريتات الكلورالصوديوم التي تتطور على طول اتجته مفترض من تدفق المياه .

: الخصائص الصخرية ، التطور الجيوكيميائي، كيمياء المياه، ميولبوسان

Résumé

Les ressources en eaux souterraines dans le Sahara Septentrional sont représentées par deux grands systèmes aquifères superposés : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Les eaux issues de ces nappes aquifères posent de sérieux problèmes de qualité physico-chimique, elles sont fortement minéralisées et très dures. Le présent travail a pour objectif de décrire l'évolution hydrogéochimique des eaux de la nappe des sables (Mio-Pliocène) du Complexe Terminal par la recherche de la relation entre la composition chimique des eaux et la nature lithologique des formations aquifères traversées. Les résultats obtenus montrent que le chimisme est gouverné essentiellement par la dissolution des transformations évaporitiques qui confère aux eaux une minéralisation excessive, de fortes concentrations en sulfates, chlorures et en sodium qui évoluent le long du sens présumé d'écoulement des eaux.

Mots clés : Ouargla, lithologie, géochimie, hydrochimie, Mio-Pliocène, évaporites.

Abstract

The groundwater resources in the Northern Sahara are represented by two large bunk aquifers: the Intercalary Continental (IC) and the Terminal Complex (TC). The water from these aquifers pose serious physicochemical quality problems, they are highly mineralized and very hard. The present work aims to describe the evolution of Hydrogeochemical waters lap the sands (Mio-Pliocene) of Terminal Complex through research of the relationship between the chemical composition of water and lithology of aquifer crossings. The results show that the chemistry is governed essentially by the dissolution of evaporite transformations that gives the water an excessive mineralization, high concentrations of sulfates, chlorides and sodium that evolve along the presumed direction of flow of water.

Keywords: Ouargla , lithology, geochemistry, hydrochemistry, Mio-Pliocene , evaporites.