

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMCCEN
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

N ° D'ordre :



MEMOIRE DE FIN D' ETUDES

Présenté pour l'obtention du
Diplôme de MASTER

Option

Géo-Ressources

Présenté par

RADJA Belaid

INTITULE

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DE LA CUVETTE
DE LA REGION DE OUARGLA, SUD-EST D'ALGERIE.**

Soutenu en juin 2014

Devant les membres du jury :

Mme. BABA-AHMED.

Présidente (Université de Tlemcen)

M. BENCHOUK M.

Examineur (Université de Tlemcen)

M. BAGHLI A.

Examineur (Université de Tlemcen)

M. TABET HELAL M. A.

Encadreur (Université de Tlemcen)

Année Universitaire : 2013/2014



Remerciements

En premier lieu, nous remercions Dieu qui nous a donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.

Au terme de sa réalisation, nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à Monsieur M. M. A. TABET HELAL ; chargé de cours, Département des Sciences de la Terre, Université de Tlemcen ; qui a accepté de diriger ce travail, nous le remercions également pour avoir bien voulu nous faire profiter de ses connaissances et pour les conseils qu'il nous a donnés.

Nos vifs remerciements à Mme K. BABA AHMED maître de conférences, Université de Tlemcen, pour nous avoir honorés en président le jury.

Nous remercions sincèrement, M. BENCHOUK chargé de cours, Département des Sciences de la Terre, Université de Tlemcen d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions également Monsieur A. BAGHLI ; chargé de cours, Département des Sciences de la Terre et de l'univers , Université de Tlemcen ; d'avoir accepté de faire partie de notre jury.

Nos remerciements sont adressés aussi à :

- M. MAHBOUBI (chargé de cours, Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université d'ORAN).

- M. M. B. TABTI FSNN STU l'Université de Tlemcen.

- La direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Ouargla.

-APC de Ouargla



DEDICACES

Tout d'abord je remercie Dieu qui m'a donné la force et le courage pour réaliser ce modeste travail. Je le dédie à :

Mes très chers parents, qui m'ont permis de poursuivre mes études, pour leurs conseils, leur affection et leurs encouragements.

Mon frère BENAMEUR et mes sœurs AICHA et IKRAM.

A toute la famille RADJA.

Mes très chers professeurs qui m'ont orienté et conseillé à aller de l'avant avec sérieux et persévérance.

Mes très chers amis HAMADA, BENAMEUR, CHEIK, M'HIDI, TOUFIK, TAIB, AYOUB, GHRISSI, AMINE, AIB, ABED NOUR, ZAIDOUN, HAMZA,...

Spéciale remerciement à M. TOUAHAR Abd el djabar, REZIG abd el kader.

Mes collègues de travail et tous les travailleurs de SONATRACH

Une pensée particulière à tous mes amis et collègues et tous ceux ou celles qui m'aiment et que j'aime.

Ma promotion avec laquelle j'ai passé de bons moments d'étude, et au département de géologie en général.

Je tiens aussi de remercier la DHW d'Ouargla et tous les citoyens de cette région

RADJA BELAID



IV.3.3. Les exutoires:.....	35
IV.3.4. Piézométrie:.....	36
IV.3.5. Le continental intercalaire à l'échelle de la région d'étude :	36
IV.4. Nappe du complexe terminal:.....	38
IV.4.1. Introduction :	38
IV.4.2. Structure et géométrie du Complexe terminal:.....	38
IV.4.3. Piézométrie:.....	39
IV.4.4. Le complexe terminal à l'échelle de la cuvette :	40
IV.5. Nappe phréatique:.....	42
IV.5.1. Introduction:.....	42
IV.5.2. Lithologie:.....	43
IV.5.3. Caractéristique hydrodynamique de la nappe phréatique:.....	44
IV.5.3.1. Granulométrie:.....	44
IV.5.3.2. Porosité:.....	44
IV.5.3.3. Perméabilité et Transmissivité:.....	44
IV.5.3.4. Coefficient d'emmagasinement:.....	45
IV.5.4.2. Historique:.....	45
IV.5.4.2.1. Avant 1956:.....	45
IV.5.4.2.2. Après 1956:.....	45
IV.5.4.2.3. En 1968 :.....	45
IV.5.4.2.4. Entre 1992 -2002:.....	46
IV.5.4.2.5. En 2003:.....	46
IV.5.4.2.6. La piézométrie actuelle 2011:.....	48
IV.6. Conclusion :.....	48
Chapitre V : Hydrochimie.....	49
V.1. Introduction :	49
V.2. Facies chimique des eaux :	49
V.3. Continental intercalaire:.....	51
V.4. Complexe terminal:.....	52
V.5. Nappe phréatique:.....	53
V.5.1. Origine de la minéralisation, évolution spatiale:.....	56
V.5.1.1. Calcium (Ca^{++}):.....	56
V.5.1.2. Magnésium (Mg^{++}) :	56
V.5.1.3. Sodium et Potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) :	56
V.5.1.4. Chlorures et Sulfates (SO_4^{-2}) :	57
V.5.1.5. Bicarbonates (HCO_3^-) :	58
V.5.1.6. Indice de saturation :	60
V.5.1.7. Les rapports caractéristiques :	60
V.5.1.7.1. Couple Ca- SO_4 :	Erreur ! Signet non défini.
V.5.1.7.2. Couple Na-Cl:.....	Erreur ! Signet non défini.
V.5.1.7.3. Couple $\text{SO}_4/\text{Cl}^- - \text{Cl}^-$:	61
V.5.1.7.4. Couple Mg/Ca – Cl:.....	61
V.5.1.7.5. Ca— HCO_3 :.....	61
V.5.1.7.6. Tous les éléments en fonction de Cl^- :.....	61

Sommaire :

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur la région d'étude	3
I.1. Localisation géographique:	3
I.2. Géomorphologie et hydrographie :	4
I.3. Lithostratigraphie:	5
I-3-1-Aptien :	5
I-3-2-Albien :	6
I-3-3-Vraconien :	6
I-3-4-Cénomaniens :	6
I-3-5-Turonien :	6
I-3-6-Sénonien lagunaire :	6
I-3-7-Sénonien et Eocène :	6
I-3-8- Mio-Pliocène:	7
I-3-9-Quaternaire :	7
Chapitre II : Géologie	9
II.1. Cadre géologique régional :	9
II.1.1 Introduction:	9
II.1.2. Présentation du bassin Septentrional:	9
II.2. Cadre géologique local	14
II.2.1. Introduction	14
II.2.2. Stratigraphie	14
II.2.2.A. Le Secondaire :	14
II.2.2.B. La Fin Secondaire-Tertiaire :	15
II.2.2.C. Le Quaternaire :	16
II.2.3. Tectonique :	18
II.2.4. La Géomorphologie :	20
Chapitre III : Climatologie	24
III.1. Climatologie:	24
III.1.1. Introduction:	24
III.1.2 : Pluviométrie:	24
III.1.3. Température:	25
III.1.4. Températures extrêmes (écarts thermiques) :	26
III.1.5. Humidité:	26
III.1.6. Les vents :	27
III.1.7. Durée d'insolation :	28
III.1.8. Evaporation :	29
III.1.9. Conclusion:	30
III.2. Hydrologie :	31
III.2.1. Ressources en eaux superficielles :	31
Chapitre IV : Hydrogéologie	32
IV.1. Introduction:	32
IV.2. Aperçu sur l'hydrogéologie générale de la plateforme saharienne :	33
IV.3. Le Continental intercalaire :	33
IV.3.1. Limites et morphologie du Continental Intercalaire:	33
IV.3.2. Alimentation du CI :	35

Conclusion générale	63
Recommandation	64

Introduction générale

Le Sahara algérien constitue, jusqu'à présent, l'objet de multiples études universitaires, d'articles scientifiques et de rapports techniques. Entre autres, des études ont porté sur la reconnaissance géologique (Bel et Dermagne, 1966 ; Busson, 1966 ; 1970 ; 1971 ; Fabre, 1976), et hydrogéologique (Cornet, 1964 ; Bel et Cuhe, 1969 ; 1970, Castany, 1982) du système aquifère du Sahara septentrional. D'autres travaux ont évalué les potentialités hydriques du système, tout en proposant divers scénarios de son exploitation à moyen et à long terme (UNESCO, 1972, 1972 ; Nesson, 1978 ; BRL-BNEDER, 1999 ; OSS, 2003).

Diverses études ont également porté sur la qualité physicochimique, et parfois bactériologique, des eaux de ce système aquifère. Elles ont pu estimer leur potabilité, leur aptitude à l'irrigation, et par conséquent, leur impact sur la santé humaine et l'environnement. C'est ainsi que des propositions de traitements, adaptés aux paramètres de qualité à corriger, ont été effectuées (Achour, 1990 ; Achour et Youcef, 2001 ; Youcef, 1998 ; Megdoud, 2003 ; Djellouli et al, 2005, Bouchahm et Achour, 2008).

Les nappes superficielles (phréatiques) du Sahara sont alimentées par les pluies, les crues des oueds et les eaux de drainage, ou encore par les fuites dans les forages exploitants les nappes sous-jacentes du système aquifère (CT et CI). Elles subissent actuellement des remontées spectaculaires de leur niveau piézométrique et une dégradation continue de leur qualité chimique. Elles ont ainsi fait l'objet de diverses études pluridisciplinaires, pour exposer les problèmes engendrés, et en chercher les solutions.

Notre contribution a pour objectif de se focaliser sur l'aspect hydrogéochimique des eaux du système aquifère du Sahara septentrional, par la mise en évidence de la relation entre caractéristiques hydrochimiques des eaux et la nature lithologique des formations aquifères.

Nous limiterons néanmoins notre champ d'investigation aux aquifères du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire de la région d'Ouargla.

Le travail proposé est structuré en cinq parties scindées chacune en plusieurs chapitres.

Au cours de la **Première Partie**, nous nous proposons de présenter les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre physique de notre région d'étude.

Dans la **Deuxième Partie**, nous présentons le contexte géologique de la région et la zone d'étude. Un chapitre permet également la compilation des résultats recherches académiques et d'exploration dans le domaine pétrolier obtenus dans le cadre de cette étude.

La **Troisième Partie** (Climatologie), nous proposons une étude sur le climat de la région sud telle que la température, les précipitations, le vent.....esc

La **Quatrième Partie** Hydrogéologique est consacrée à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus pour chaque niveau aquifère.

La **Cinquième Partie** (Hydrochimie), dans ce chapitre nous présentons les faciès hydrogéochimiques

Chapitre I : Généralités sur la région d'étude

I.1. Localisation géographique:

La wilaya d'Ouargla se situe dans le Sud-est de l'Algérie. Elle se trouve limitée au Nord par Biskra, au Sud par Tamanrasset, au Nord-Ouest par Djelfa, à l'Ouest par Ghardaïa, à l'Est par la wilaya d'El Oued, et au Sud-est par Illizi (Figure I-1). la région d'étude occupe le bas fond de la vallée de l'oued M'ya qui draine le versant Nord du plateau de Tademaït et s'achève à Sebket Safioune (Rouillois-Brigol, 1975 In NZLI 2009).

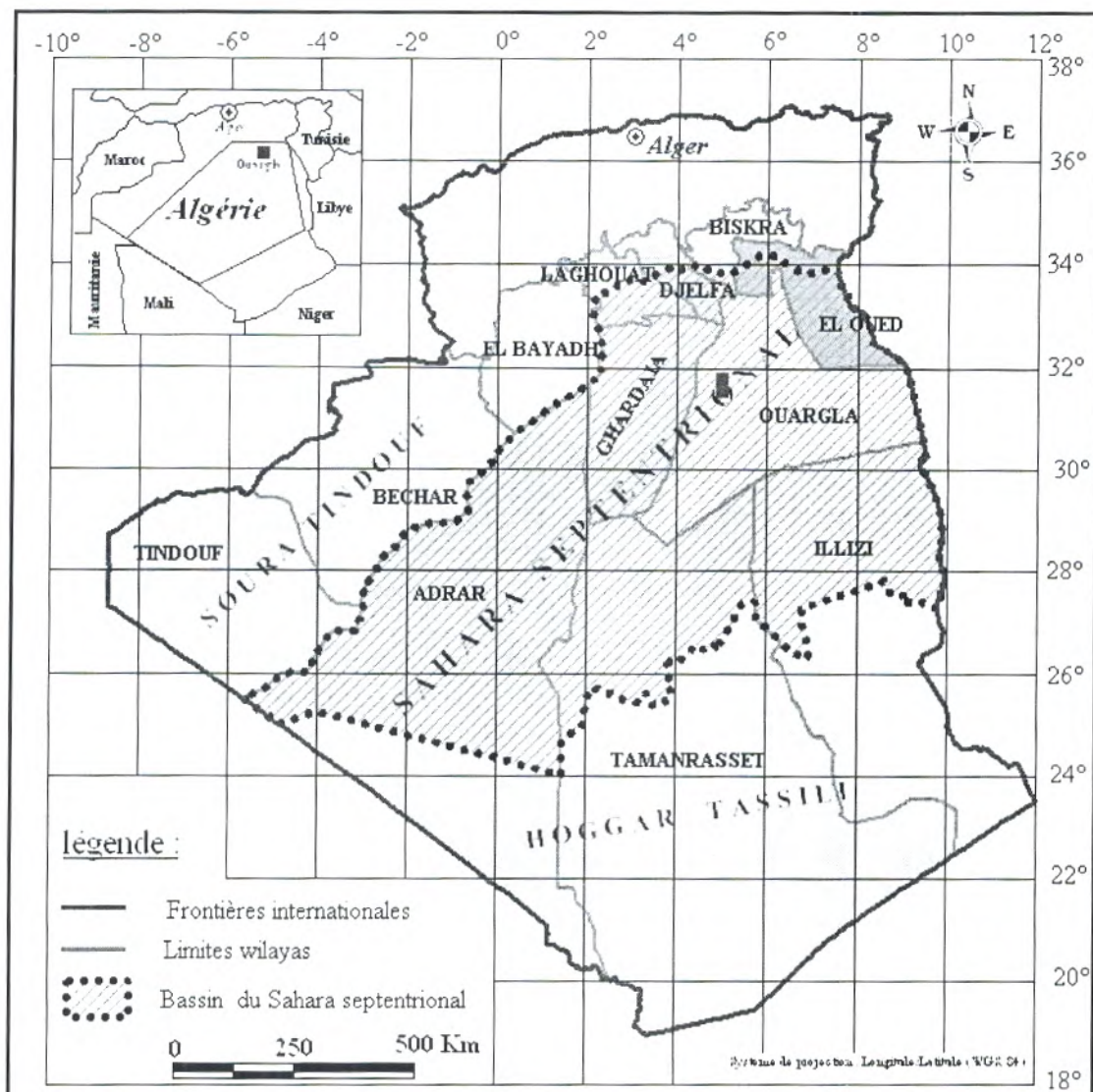


Figure I.1 : Carte de situation géographique (ABH 2006)

La ville d'Ouargla est située dans une dépression appelée Cuvette d'Ouargla qui inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouisset, Aïn El Beida et Sidi Khouiled, elle s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke1880.fuseau 32) : X (710 000 à 730 000) et Y (3 530 000 à 3 600 000).

La cuvette a une superficie totale de l'ordre de 95 000 ha qui s'étale sur une longueur d'environ 55 km orientée sud-ouest / nord-est et limitée :

- Au Nord par Sebkhet Safione;
- A l'Est par les ergs de Touil et Arifdji;
- Au Sud par les dunes de Sedrata;
- A l'Ouest par le versant est de la dorsale du M'Zab

I.2. Géomorphologie et hydrographie :

La géomorphologie de la région est constituée par les éléments suivants :

- Les hamadas de Mio-Pliocène et Plio-Quaternaire* : (Figure I-2) formation continentale détritique qui forme des plateaux dont l'altitude est de 200 m en moyenne (Figure I-3) (BG 2004). Les terrains du Mio-Pliocène sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes).
- Les formations sableuses* : composées de dunes et de cordons d'erg.
- Les étendues alluviales* correspondant au lit de l'oued Mya selon un axe SW-NE.
- Les sebkhas* : marécages salés, le plus souvent asséchés, occupant le fond d'une dépression. La plus grande est la Sebkhet Safiouna à l'extrémité Nord, c'est aussi le point le plus bas de la cuvette.

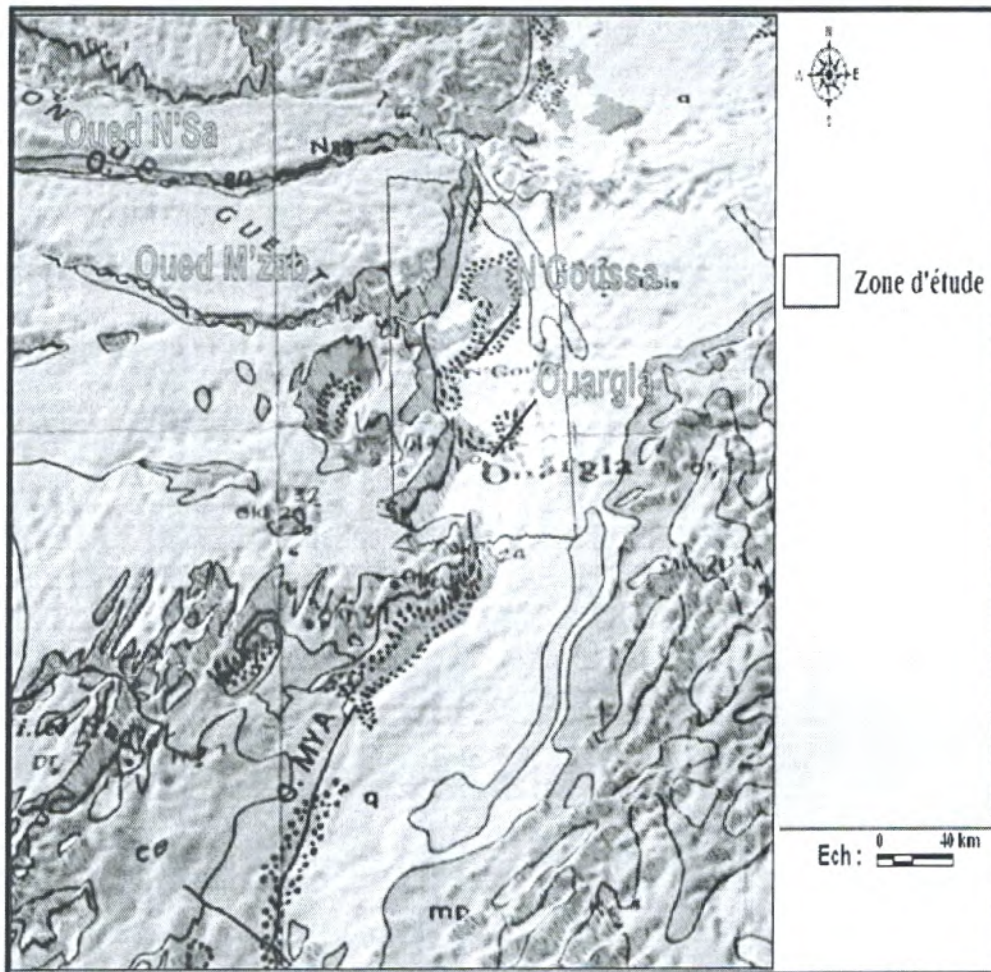


Figure I.2: carte de Relief de la région d'Ouargla (BG, 2004)

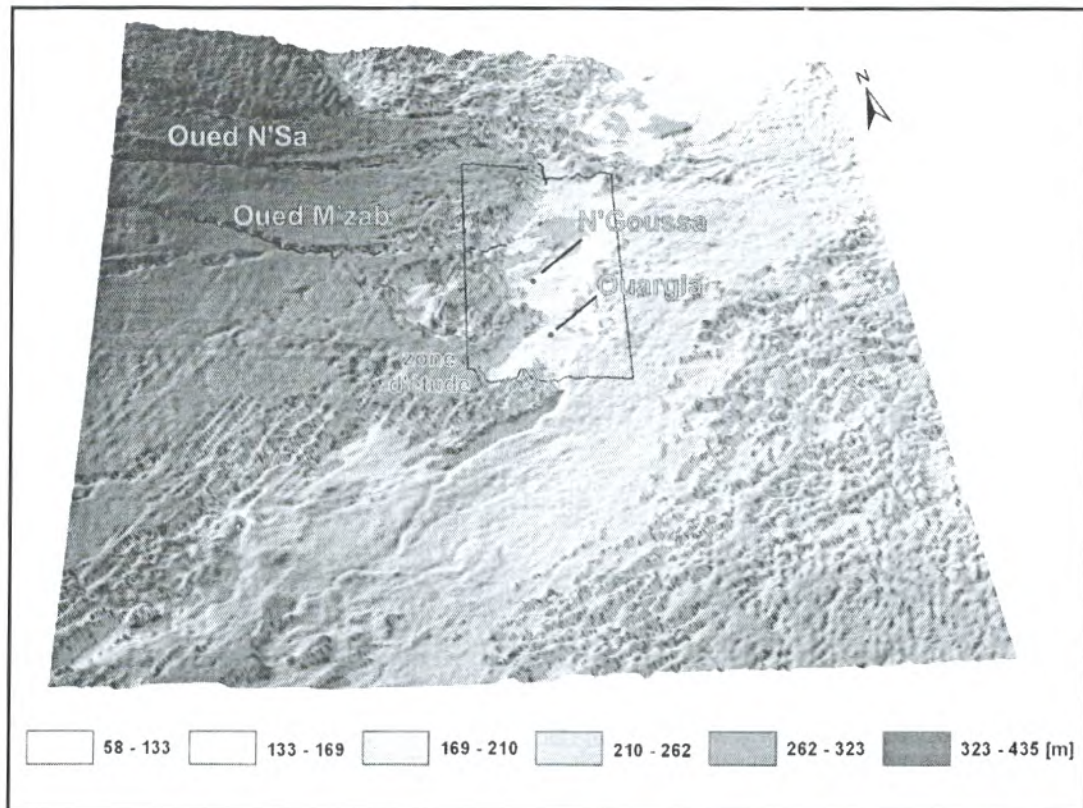


Figure I.3 : relief de la région d'Ouargla (BG 2004)

L'hydrographie de la cuvette d'Ouargla se distingue Selon Dubief (1959) par son caractère endoréique, le réseau hydrographique traversant la région est composé des oueds suivants :

Au Nord-ouest : Oued N'sa (Figure I-3) qui selon les fréquences peut présenter des crues considérables. Le bassin versant de oued N'sa couvre une superficie de 7800 Km².

Au Sud : Oued Mya draine la partie orientale du plateau de Tademaït. Le bassin de l'oued Mya a la forme d'une vaste gouttière relevée du Sud (800 m) avec une pente très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-est. Il s'étend sur 19800 km², le cours fossile de l'oued Mya inférieur est jalonné par de vastes sebkhas jusqu'à Ouargla, distant de 200 km environ du point externe. Si l'on admet cependant que l'oued Mya se jetait dans le chott Melrhir actuel, sa longueur devrait atteindre les 900 km.

A l'Ouest : Oued M'Zab, dont la superficie du bassin de l'oued est d'environ 5000 km², il prend la direction Ouest-Est sur une distance de 350 Km de la région de Batma E'Rouilla à une altitude de 750 m jusqu'à Sebkhet Safione d'une altitude de 104 m. Les crues peuvent atteindre Sebkhet Safione.

I.3. Lithostratigraphie:

D'après KILIAN 1931 et CRNA 1991 la lithostratigraphie est composée de :

I-3-1-Aptien :

Il est constitué par la "barre aptienne " dans la région d'Ouargla, qui est formée de marnes dolomitiques,(Figure I-4) gris verte, brunes ou blanches, et dolomies cristallines, son épaisseur est variable, elle est comprise entre 25 et 50m. L'aptien est considéré comme imperméable dans son ensemble.

I-3-2-Albien :

Sur la région de 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 (220 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. Dans son ensemble, L'Albien correspond à un horizon aquifère.

I-3-3-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.

-Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.

I-3-4-Cénomaniens :

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.

I-3-5-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.

I-3-6-Sénonien lagunaire :

Le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique :

-le Sénonien lagunaire à la base

-le Sénonien carbonaté au-dessus

Il est constitué par une alternance régulière de bancs :

-d'anhydrite (quelques mètres d'épaisseur).

-de dolomie (jusqu'à 10-15m d'épaisseur).

-d'argile (rarement plus de 1 à 2 m).

-et de sel.

I-3-7-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 microcristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux.

Ere	Etages		Prof	Chronostratigraphie			
QUATERNAIRE			10m	Sables			
				Argiles			
				Évaporites			
				Sables			
				Argiles			
			CÉNOZOÏQUE	Mio-Pliocène		180m	Gravier
							Grès
							Argiles
							Argiles Lagunaires
							Dolomies
			MESOZOÏQUE	ÉOÈNE	Moyen	280m	Argiles Lagunaires
					Inférieur		
				CRÉTACE	Sénonien	500m	Calcaires
					Carbonaté		
					Sénonien	900 m 1000m	
Lagunaire	Anhydrite						
Turonien	Sel massif						
Cénomannien	Argiles						
Vraconien	1200m	1280m			Marnes		
Albien					Calcaire marneux		
Aptien	1500m 1550m	1550m	Dolomies Argiles Anhydrite Marnes				
Barrémien			Argile et dolomie				
			Sables				
			Grès				
			Argile sableuse				
			Dolomies				
			Sables				
			Et				
			Grès				

Figure I.4: Colonne stratigraphique synthétique de la région de Ouargla (ANRH, 2004 In HOUARI, 2009)

Chapitre II : Géologie

II.1. Cadre géologique régional :

II.1.1 Introduction:

Le rôle de la géologie est primordiale en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

Dans ce chapitre, nous aborderons les aspects géologiques à différentes échelles d'étude : échelle générale de la plateforme saharienne, celle restreinte au Sahara Septentrional et celle locale propre à la zone de la cuvette.

II.1.2. Présentation du bassin Septentrional:

Le bassin du Sahara Septentrional présente une superficie de **872 373 Km²**, il est limité :

- Au Nord par le bassin hydrographique du Chott Melghir et au Sud par le bassin du Hoggar-Tassili,
- A l'Est par le Chott Djérid (territoire Tunisien)
- A l'Ouest par le bassin de la Saoura –Tindouf.

Il s'étend partiellement sur Huit (08) wilayas, qui sont : Ouargla, Ghardaia, El Oued, Tamanrasset, Adrar, Illizi, Laghouat et Djelfa, regroupant au total 96 communes.

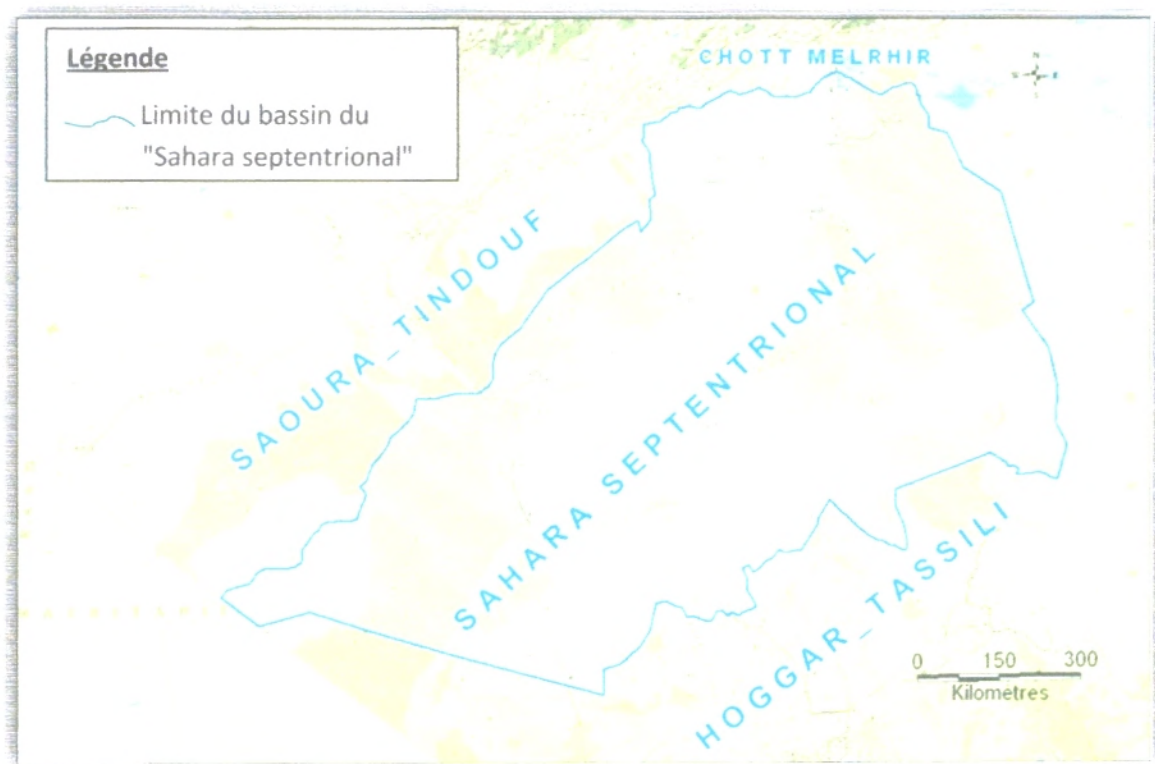


Figure II.1: Situation du bassin du Sahara Septentrional

La région de Ouargla fait partir du bassin sédimentaire du Sahara Nord-Est septentrional (Fig. II.1), dont les grands traits géologiques sont:

- Au sud de l'accident Sud atlasique, le bouclier précambrien formé de terrains éruptifs, plissés et métamorphisés, surmonté par des milliers de mètres de sédiments allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire.
- Le Paléozoïque du Sahara septentrional correspond à des dépôts de climat désertique périglaciaire.

Autour des affleurements du socle, s'étagent des couches gréseuses et schisteuses des terrains Tassiliens. Les mouvements hercyniens du Périmo-Carbonifère, vont provoquer l'érosion du bouclier. Ils s'installent alors une grande période continentale avec pénéplation post-hercynienne, pendant le Trias et le Jurassique avec la formation d'un manteau de grès, de sables et d'argiles, qui vont constituer le "Continental Intercalaire, TOUAHAR A ,2013.

Le Trias: Busson (1972) souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseur du Trias. Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes, qui peuvent être: salifères, argilo-gréseuses ou carbonatées. L'épaisseur de ces différentes formations varie principalement là où s'intercalent les bancs salifères. L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest environ 150-180 m. Elle diminue dans les zones des haut-fonds (Hassi Messaoud et Rourde El Baguel). Le Trias salifère présente une grande épaisseur (700 m au Nord-Est de Ghadamès), il atteint 1300 m à la région de Hassi Messaoud.

Le Jurassique: Le Jurassique inférieur englobant le Lias et le Dogger comprend principalement des couches évaporitiques, constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argile, auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et d'argiles avec des bancs d'anhydrite. Par contre, le Jurassique moyen est caractérisé par une transgression qui couvre tout le bassin du Grand Erg Oriental et les dépôts y sont épais. Le Jurassique supérieur en particulier le Malm est caractérisé, par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés. Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'Ouest et vers la partie Sud.

Le passage du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur, se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers, situés au Sud du bassin saharien (Hoggar), d'après Busson (1972).

Le Crétacé: L'étude des données de sondages effectué par Busson (1972) a permis de préciser la succession lithologique au cours du Crétacé. Il est constitué par des couches terrigènes fluvio-deltaïques, qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur. Il comprend à partir des formations les plus anciennes:

Le Néocomien: dans le bas Sahara il comprend des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles.

Le Barrémien: il est caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusqu' à dans le bas Sahara. Ces formations se présentent sous forme des grés fins ou grossiers et des argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar). Les intercalations carbonatées sont peu nombreuses et cantonnées au Nord-Est du Sahara algérien.

L'Aptien: c'est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du bas Sahara, par une épaisseur de 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternées avec des lits d'anhydrites, d'argiles et de lignites caractérisé par sédimentation lagunaire.

L'Albien: il est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomaniens. On remarque, que le changement de régime sédimentaire et l'arrivée en masse des sédiments détritiques, s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien au cours de l'Albien, Fabre (1976).

Le Cénomaniens: il est formé par une alternance de bancs de dolomies, de calcaires dolomitiques, d'argiles et évaporites (anhydrite ou sel), son faciès varie:

- Au Sud de Ouargla, les argiles et les évaporites sont dominants.
- Au Nord, au contraire, les bancs de calcaires et de dolomies sont majoritaires.
- De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord de 50 m dans le Tademaït à 350 m dans le bas Sahara.
- La présence de nombreux banc d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable d'après Bel et Cuche (1969).
- Le Cénomaniens inférieur à moyen est argileux dans le Tihert et le bas Sahara.
- Le Cénomaniens supérieur est caractérisé par des calcaires, d'après Busson (1972).

Le Turonien: Il se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord:

- Au Sud, il est calcaro-marneux.
- Au centre, il est essentiellement calcaire.
- Au Nord, il est à nouveau calcaro-marneux.
- Son épaisseur moyenne varie d'une épaisseur entre 50 à 100 m. Elle augmente dans la région des chotts où elle dépasse les 300 m d'épaisseur, d'après Bel et Cuche (1969).

Le Sénonien: Il s'individualise en deux faciès:

- Le Sénonien inférieur caractérisé par un Sénonien salifère et anhydritique à sédimentation lagunaire composé par des formations argileuses et salifères à anhydrite, il est très peu perméable, d'après Busson (1972).
- Le Sénonien supérieur essentiellement le Sénonien carbonaté se présente par des formations carbonatées perméables.

L'Eocène: se distingue par deux ensembles différents du point de vue lithologique qui est à la base:

- L'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques, avec quelques intercalations de marnes, d'argiles et même d'anhydrites et de sels. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m, l'épaisseur maximum se situe dans la zone du bas Sahara.

Au sommet:

- L'Eocène évaporitique est formé, par une alternance de calcaires, d'anhydrites et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts, d'après Bel et Cuhe (1969).

L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien, d'après Busson, (1972).

Le Mio-Plio-Quaternaire: Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150 m). Il est présenté d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le bas Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal d'âge Mio-Pliocène, dont l'épaisseur peut atteindre dans la région des Chotts Algéro-Tunisiens quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région de Oued Righ, deux niveaux aquifères au sein des sables, qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe de Oued Righ). L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux, qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes et des chotts, d'après Busson, (1972).

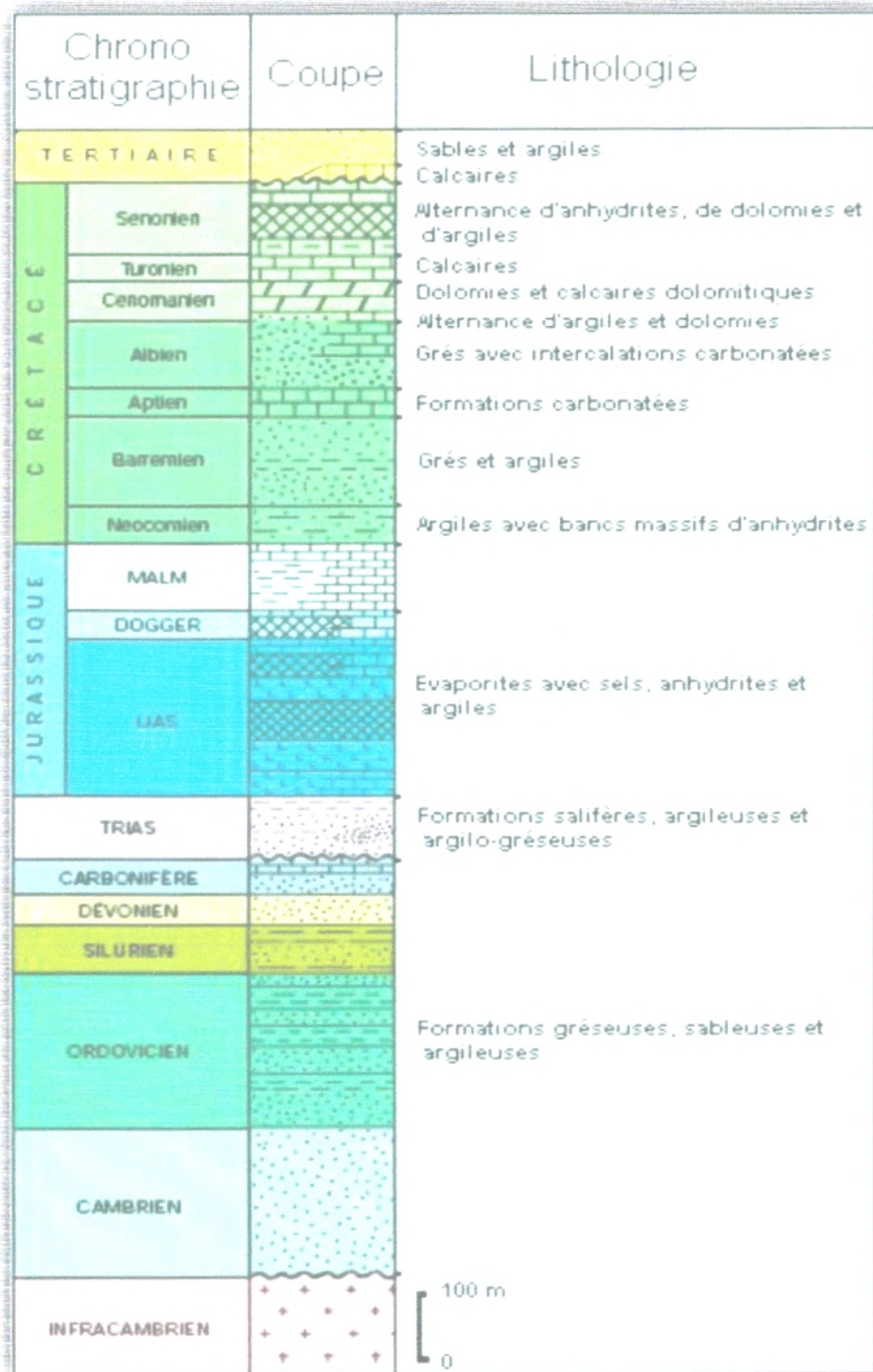


Figure II.2: Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord-Est Septentrional (Sonatrach et Schlumberger, 1990)

II.2. Cadre géologique local

II.2.1. Introduction

Le comportement géologique des terrains de la région de Ouargla est connu par une étude lithologique détaillée allant du Barrémien jusqu'au Mio-pliocène. Dans la région d'Ouargla, les terrains Mio-Pliocènes affleurent à la surface sur une faible épaisseur et sont recouverts par endroits de dépôt quaternaires (ergs et dunes).

II.2.2. Stratigraphie

La corrélation des logs stratigraphiques, établis à partir des forages aquifères dans la région d'étude, permet de mettre en évidence la succession lithologique suivante :

Il y'a lieu de constater, que la profondeur à laquelle se trouve les étages, varie d'un forage à l'autre.

Il faut signaler que l'absence du Paléozoïque dans la stratigraphie est causée par une érosion à ce niveau dans la région étudiée.

II.2.2.A. Le Secondaire :

A.1. Le Barrémien

Les principaux constituants de cet étage sont les éléments clastiques, en particulier les grès avec des passées d'argiles et parfois l'existence des éléments carbonatés.

A.2. L'Aptien

L'Aptien est constitué par la "barre aptienne " dans la région de Ouargla, qui est constitué de marnes dolomitiques, de couleurs grises, vertes, brunes ou blanches, et des dolomies d'aspects cristallins. Son épaisseur est variable, comprise entre 20 et 26m. L'Aptien est considéré comme imperméable dans son ensemble.

A.3. L'Albien

Dans 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 entre 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-rougeâtres, pélitiques et sableuses sur les puits les plus septentrionaux. Dans son ensemble, L'Albien correspond à un horizon aquifère.

A.4. Le Vraconien

L'intercalation albo-vraconienne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès albiens et les argiles Cénomaniennes. Il est formé de:

- Dolomies à, quelques fois de calcaires dolomitiques et parfois argileux, contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs sont inférieures à 100 m, mais supérieures à 50 m sur Haoud-Berkaoui, sauf quelques exceptions locales, en particulier dans deux puits qui sont

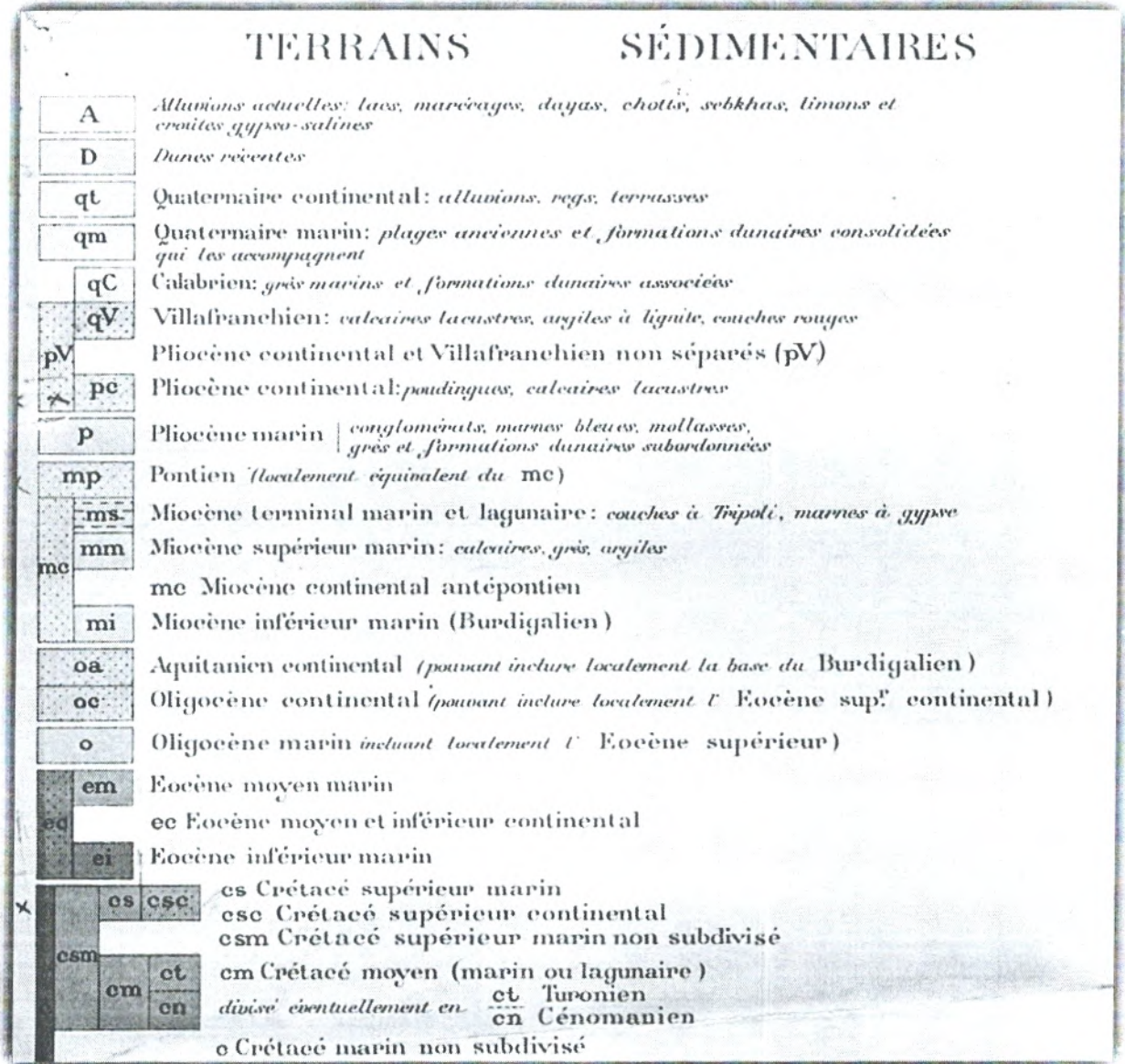


Figure II.3 : légende Carte géologique de la région d'Ouargla Cornet 1964

D'après la carte géologique, la géologie de la région d'Ouargla est constituée de Marnes jaunâtres, plus ou moins gréseuses, salées ou gypseuses;

- Calcaires ocres, gréseux ou marneux;
- Argiles sableuses rouges à ocres salées et gypseuses;
- Grés, sables et conglomérats;
- Calcaires lacustres;
- Sables récents du Quaternaire.

II.2.3. 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 400m

II.2.3. 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 400m dans la partie Sud et la partie Ouest de la dépression. Dans la partie Nord, augmente vers le Nord jusqu'à 6000m.

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 et Nord-Ouest en traversant la région de Ouargla par l'Est.

La vallée de l'Oued M'ya s'inscrit dans une vaste cuvette sédimentaire occupant, dès le Secondaire, l'emplacement de l'actuel Sahara Nord Oriental.

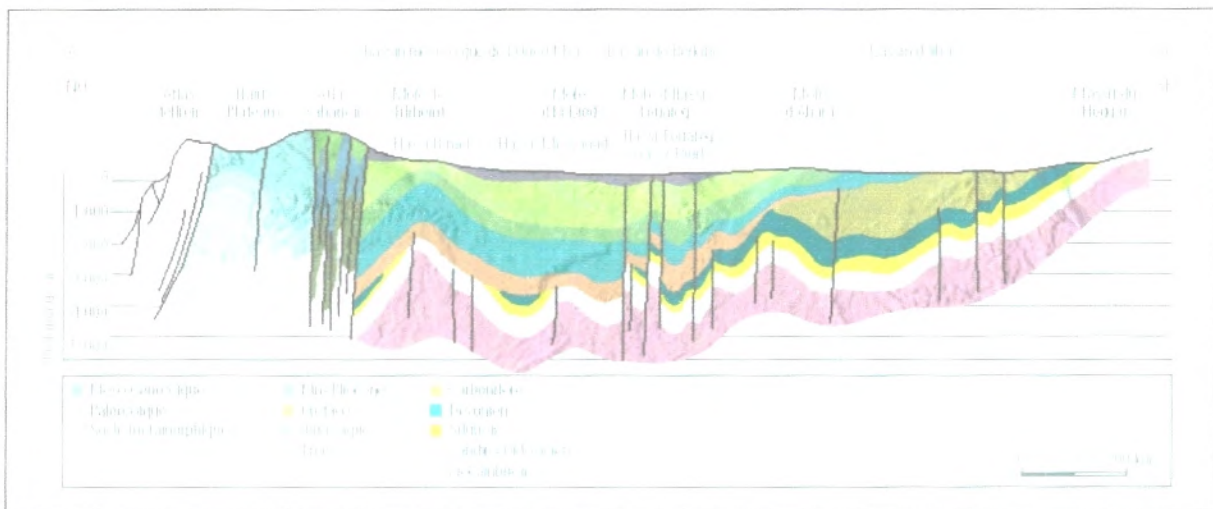


Figure II.4 : Coupe géologique régionale. (SONATRACH et Schlumberger,2007)

Dans ensemble, Les mouvements verticaux ont affecté le socle précambrien et, le primaire provoqué notamment l'effondrement progressif de sa partie centrale, suivant un axe passant par le tronçon supérieur de la vallée de l'Oued M'ya. La base est formée de dépôts marins du Primaire et le toit par les argiles marines du Cénomanién.

En effet, au Crétacé supérieur, la mer a envahi le Nord du Sahara, dont le lent affaissement se poursuivait.

Les dépôts du Sénonien supérieur, sont constitués par des calcaires et des marnes, atteignent une épaisseur de 200 m.

Cette puissante série avait été d'abord attribuée au Turonien, car on estimait à l'époque, que la région de Ouargla, exhaussée à l'Oligocène post-lutécien, avait subi une érosion active faisant disparaître la couche des calcaires d'âge éocène et que le Sénonien se réduisait à des bancs de calcaire épais de 160 à 200 m recouverts en discordance par les dépôts continentaux du Pontien.

A la même époque, que le mouvement de la subsidence continue, depuis le début du Secondaire, marque un arrêt, qui permet le comblement définitif de la cuvette. Sur les calcaires et les marnes du Sénonien supérieur ou de l'Eocène moyen, s'est déposée une



Figure II.5: Carte géologique de la région d'Ouargla

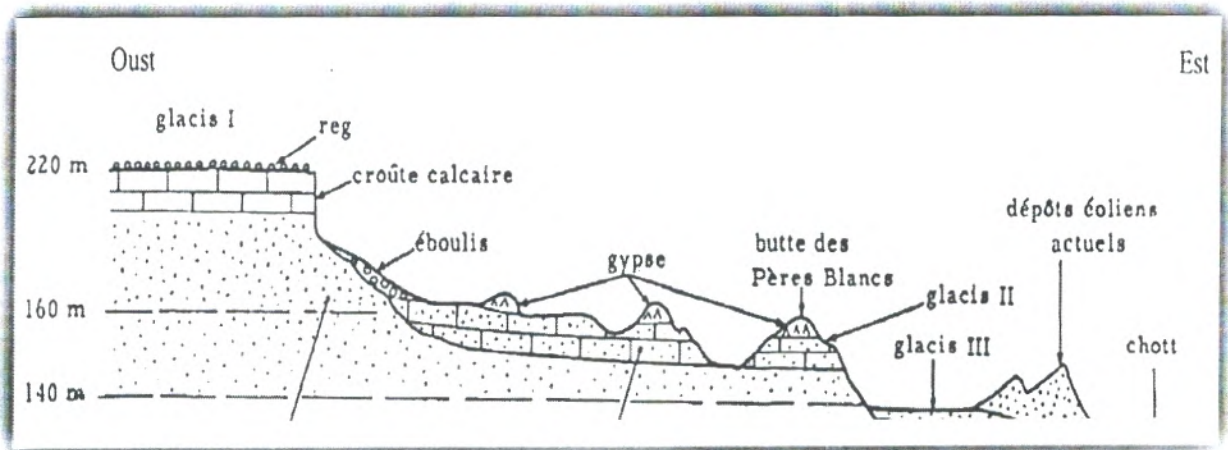


Figure II.6: Coupe géomorphologique schématique Ouest-Est de la cuvette d'Ouargla

Dans la zone étudiée, le chott est constitué de deux tiers de sable. Les sables anciens sont plus

plateau, qui a été libérés, lors de façonnement des glaciers.

- Les sables clairs plus grossiers et gypseux, qui sont moins abondants, ils sont issus probablement de l'altération physique des encroûtements gypseux.

La sebkha se caractérise par la présence d'une nappe phréatique permanente et salée.

4.1.d. Les dunes de sable

Ce sont des formations éoliennes récentes et se présentent en petits cordons, elles occupent le sud et recouvrent les ruines de Sedrata, son altitude dépasse 155m et dominant de 20m le point le plus bas de la vallée. Aussi elle occupe l'Est et le Nord-Est de Ouargla, qui bordent les sebkhas le long de la vallée de l'Oued M'ya.

geo
morphology

5. Conclusion

La région d'Ouargla se présente comme une cuvette synclinale du bas Sahara. Ce dernier est divisé en deux parties: le bassin occidental du Tadmait et le bassin du Tinhert.

Tous les terrains affleurent sur les bordures, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire, s'enfonçant sous la couverture sédimentaire en grande partie dissimulée par le grand erg oriental, cependant quelques affleurements sont observés plus au moins sur les bordures:

- Les terrains paléozoïques affleurent à l'Ouest du grand Erg Occidental.
- Les terrains mésozoïques et le début du Cénozoïque.
- Les terrains continentaux tertiaires et quaternaires.

Les logs de forages, et les coupes géologiques, qui ont été établis, ont permis de distinguer :

- Le Secondaire, avec les formations allant de l'Aptien jusqu'au Sénonien.
- Le Tertiaire, allant de l'Eocène inférieur jusqu'au Mio-Pliocène, constituant les formations du complexe terminal.
- Et enfin le Quaternaire, qui est constitué d'un matériau détritique et de sables éoliens.

L'histoire paléogéographique de la cuvette se caractérise par l'effondrement progressif de sa partie centrale. Les couches supérieures de la série tertiaire ont disparues du fossé. Le remblaiement quaternaire des sables éoliens vient reposer en discordance et irrégulièrement sur les séries moyennes du continental terminal.

complexe



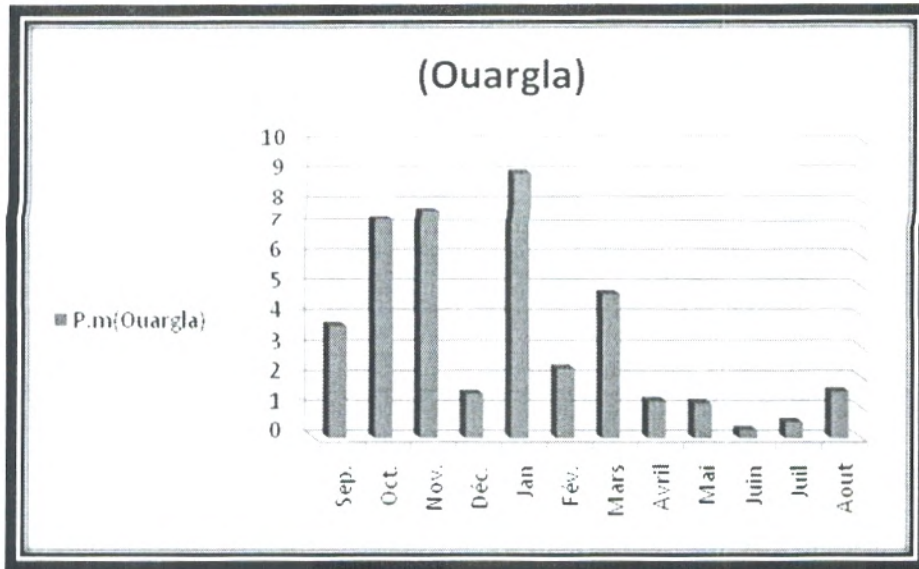


Figure III.1 : Précipitations mensuelles moyennes dans la région d’Ouargla (1996-2009)

III.1.3. Température:

La température est la grandeur physique, qui caractérise de façon objective la sensation subjective de chaleur ou de froid, la température est mesurée avec un thermomètre. Les données des températures durant la période (1996-2009) sont représentées dans le Tableau II2

La wilaya d’Ouargla est caractérisée par un climat saharien aride, les températures sont très élevées en été, la moyenne des mois les plus chauds (Juillet et Aout) dépasse les 34° et celle du mois le plus froid (Janvier) est inférieure à 12°C.

Tableau I.2: Température moyenne mensuelle (°C), période 1996 – 2009 (ONM, 2010)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
T.m(Ouargla)	30.58	24.49	16.88	12.39	11.83	13.61	17.95	22.4	27.42	32.54	34.94	34.17

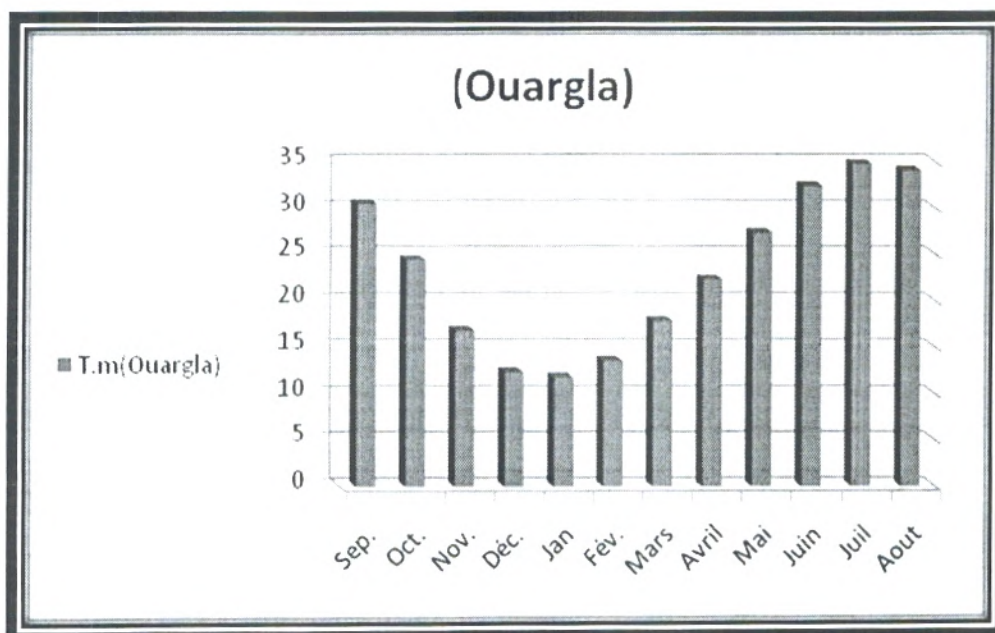


Figure III.2: Température mensuelle moyenne dans la région d’Ouargla (1996-2009)

III.1.4. Températures extrêmes (amplitude thermique) :

Tableau III.3 : écarts thermiques (°C) période 1996-2009 d'après ONM (Ouargla,2010).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév;	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
T.Max	37,49	31,58	23,88	19,29	18,63	20,77	25,49	29,87	34,81	39,21	43,55	42,97
T.Min	23,64	17,61	10,18	6,11	5,22	6,74	10,27	14,94	19,97	24,94	27,89	27,45
amplitude	13,85	13,97	13,7	13,18	13,41	14,03	15,22	14,93	14,84	14,27	15,66	15,52
T.moy	30,54	24,59	17,03	12,7	11,92	13,75	17,88	22,4	27,39	32,07	35,72	35,21

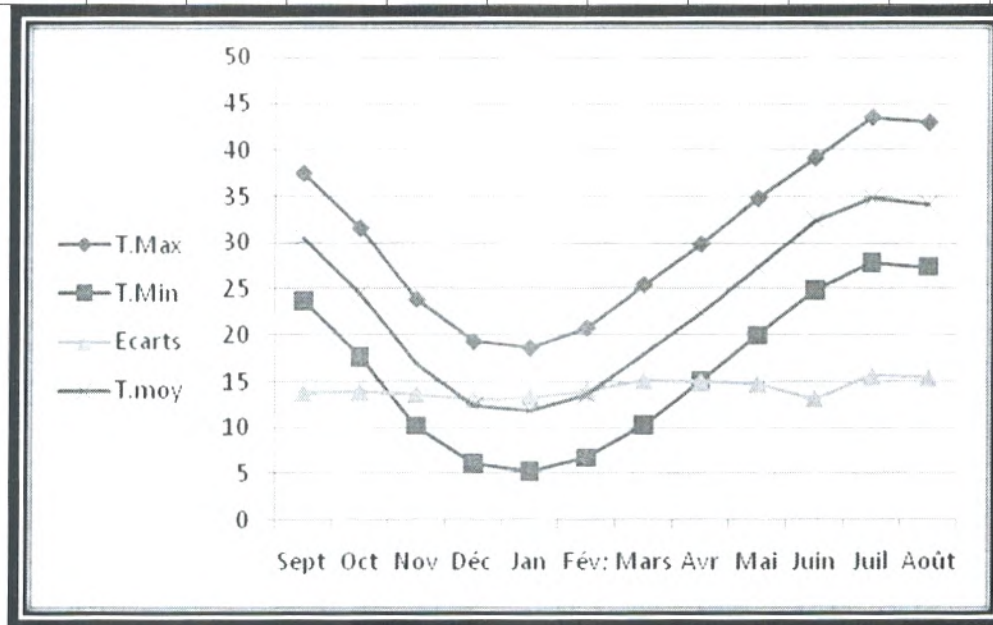


Figure III.3 : amplitude thermiques (°c) à Ouargla (période 1996-2009)

D'après le tableau d'écart thermique, on remarque que les écarts de température sont pas élevés, compris entre 13.18 et 15.66°C.

Au mois de Juillet les variations des valeurs extrêmes est plus forte : entre 43et 28°C Avec une différence thermique de 15°C.

III.1.5. Humidité relative :

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère sous forme de vapeur ou bien nombre de gramme de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air. L'humidité est généralement mesuré par un appareil appelé hygromètre

L'humidité est très faible au cours de l'année, elle est en moyenne 61.49% aux mois de Décembre et Janvier, et de 24.64% aux mois de Juillet, soit avec 43 % comme moyenne annuelle.

Tableau III.4: Humidité moyenne mensuelle (%), période 1996 – 2009 (ONM, 2010)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
H.m(Ouargla)	39.31	52.40	59.39	61.49	64.61	53.25	44.47	34.47	28.87	29.85	24.64	28.87

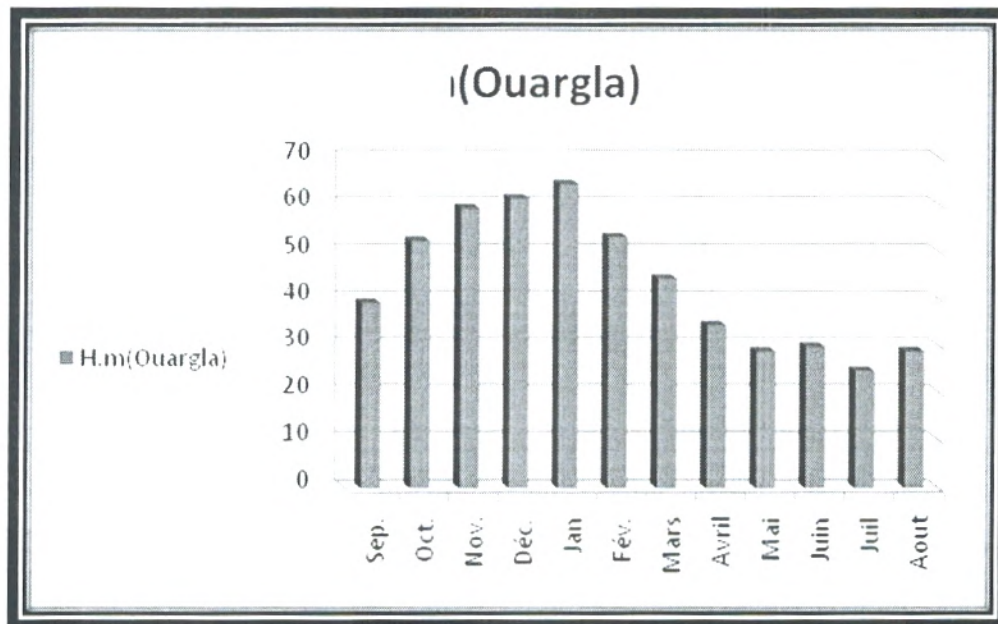


Figure III.4: Humidité mensuelle moyenne dans la région d'Ouargla (1996-2009)

III.1.6. Les vents :

Le vent est un phénomène continu au désert où il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense à cause des particules sableuses qu'il transporte, et contrepartie une sédimentation également importante, qui se traduit par la formation de dunes. Des vents atteignant 100 Km/h sont un phénomène normal, l'air reste obscurci des journées entières par le vent de sable et les particules minérales peuvent être soulevées jusqu'à 1 500 mètres de haut par des trombes. Indépendamment de l'action mécanique, que le vent exerce sur les végétaux, dont il déchire les parties aériennes, il agit surtout en accentuant l'évaporation.

Dans la wilaya de Ouargla les vents soufflent du Nord-est et Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest tandis qu'au Printemps les vents du Nord-est et de l'Ouest dominant en été ils soufflent du Nord-est et en automne du Nord-est et Sud-ouest .

Le maximum de la vitesse des vents est enregistré au mois de mai avec une vitesse moyenne de 4.77 m/s, le minimum est au mois de novembre et décembre avec 2.7 m/s.

Tableau III.5: vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s), période 1996 – 2009 (ONM, 2010)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
V.m(Ouargla)	3.76	3.36	2.70	2.7	2.82	3.12	3.79	4.46	4.77	4.58	4.19	3.97

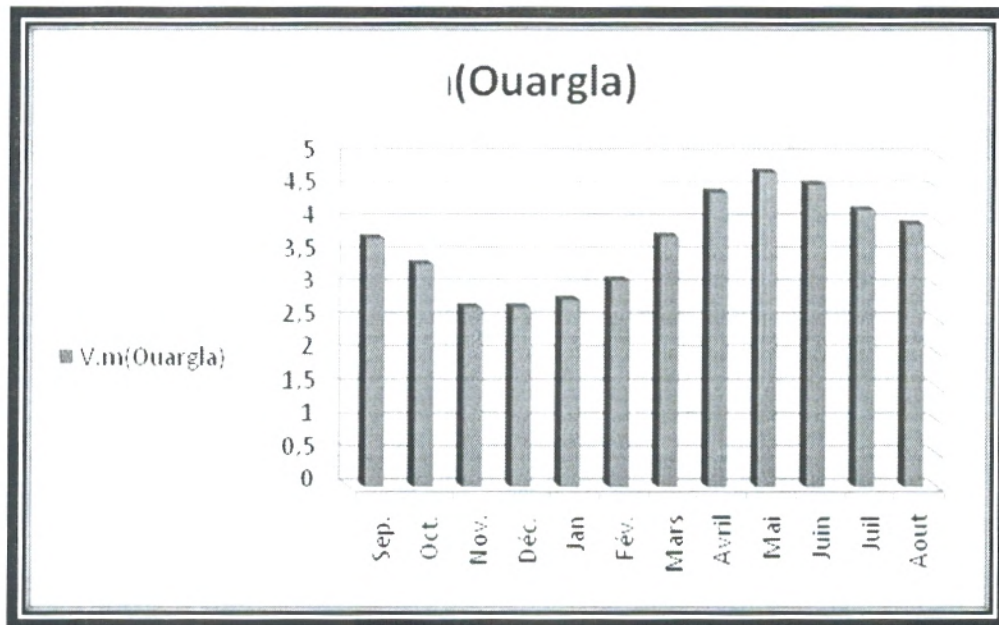


Figure III.5: Vitesse mensuelle moyenne des vents dans la région d'Ouargla (1996-2009)

III.1.7. Durée d'ensoleillement:

En raison du peu de nébulosité de l'atmosphère, les déserts reçoivent une quantité de lumière solaire relativement très forte. En exprimant la nébulosité moyenne en dixièmes (le ciel couvert étant compté pour dix dixièmes), on observe au Sahara le nombre d'heures annuelles de soleil est 3048 h/an. Cette forte luminosité est un facteur favorable pour l'assimilation chlorophyllienne, mais elle a en revanche un effet desséchant car elle augmente la température.

La wilaya d'Ouargla reçoit une quantité de lumière solaire très forte, le maximum est atteint au mois de Juin avec une durée moyenne de 3048 heures/mois, et le minimum est enregistré au mois de Décembre avec une durée moyenne de 162 heures/mois.

Tableau III.6 :Durée moyenne mensuelle d'insolation en heures/mois, période 1996-2009 (ONM, 2010)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
D.i.m(Ouarg-la)	234	240	211	162	232	266	278	275	306	308	296	240

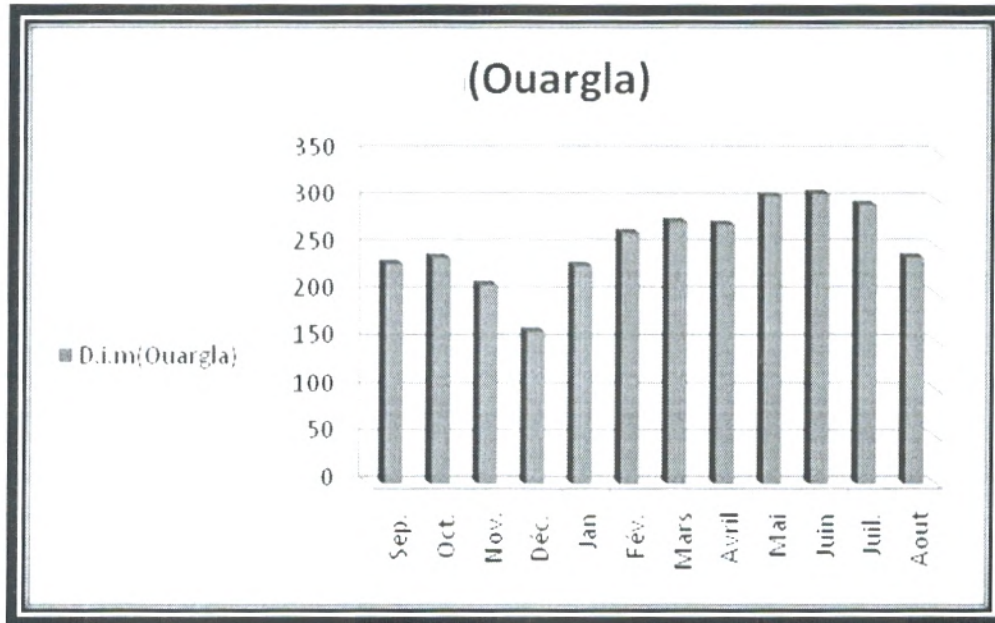


Figure III.6: Durée mensuelle moyenne d'ensoleillement dans la région d'Ouargla (1996-2009)

III.1.8. Evaporation :

L'évaporation est un phénomène physique, qui augmente avec la température, la sécheresse de l'air et l'agitation de cet air (on sait par exemple, que le linge sèche d'autant plus vite qu'il fait plus chaud et qu'il y a davantage de vent). 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. Ces conditions sont pratiquement toujours remplies au Sahara et de ce fait l'évaporation atteint une ampleur considérable. En supposant le cas théorique d'une nappe d'eau libre qui serait constamment alimentée, on a pu mesurer que la tranche d'eau évaporée annuellement dans le Sahara Algérien serait de 3 à 5 mètres environ suivant les localités, c'est-à-dire une valeur infiniment plus forte, que la tranche d'eau qui tombe sur le sol lors des pluies.

L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 3041.1mm/an au mois de Aout et de 93.6 mm au mois de Décembre, soit 253.42 mm moyenne annuelle.

TableauIII.7: Evaporation moyenne mensuelle en mm, période 1996 – 2009 (ONM, 2010)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
E.m(Ouargla)	270.2	230.1	131.3	93.6	98.4	133.5	208.6	276.5	329.4	411	428.1	430.4

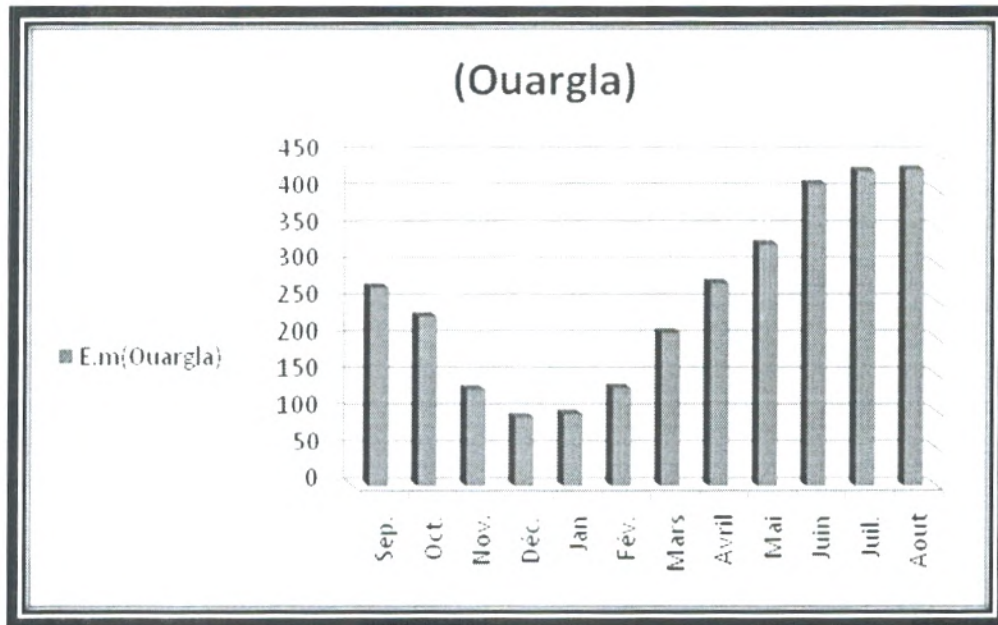


Figure III.7 : Evaporation mensuelle moyenne dans la région d'Ouargla (1996-2009)

III.1.9. Conclusion:

Les précipitations moyenne annuelle est de l'ordre de 41.17 mm, janvier 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.

La température est très élevée en été, avec une moyenne mensuelle du mois le plus chaud (Juillet et Aout) qui dépasse 34° C et celle du mois le plus froid (Janvier) est de 11° C.

L'humidité annuelle moyenne est de l'ordre de 43.46 % dont janvier et Décembre sont les mois les plus humides avec une moyenne de 64 %, par contre, Juillet est le mois le moins humide avec une moyenne de 24%.

Les vents ont des vitesses moyennes de 3,68 m/s, cette vitesse est plus élevées aux mois d'Avril, Mai, Juin et Juillet, où elle dépasse les 4.77 m/s, et moins élevée durant les mois d'Hiver; Novembre, Décembre et Janvier, elle est d'ordre de 2,7 m/s. La direction dominante des vents est SSW – NNE.

La durée d'insolation est maximale aux mois de Mai et Juin, elle est supérieur à 300 heures/an, elle est minimale au mois de Décembre avec une durée de 162 heures. La moyenne annuelle de durée d'insolation est de 3048 heures.

L'évaporation atteint son maximum aux mois de Juin, Juillet et Août (plus de 400 mm), Par contre, elle est minimale au mois de Décembre (93.6 mm), l'évaporation annuelle moyenne est de l'ordre de 3041.1mm/an.

On peut dire, que les précipitations dans la wilaya d'Ouargla ne jouent aucun rôle important en ce qui, concerne la recharge des nappes d'eaux souterraines.

III.2. Hydrologie :

III.2.1. Ressources en eaux superficielles :

L'étude des eaux superficielles, qui a nécessité la récolte de l'ensemble des données hydro-pluviométriques a permis de mettre en évidence la caractérisation générale du bassin, de même que la présentation des données illustrées par des graphiques interprétés.

L'hydrographie de la wilaya de Ouargla se caractérise par son endoréisme (Dubief, 1953). Différent bassin versants « M'ya, M'Zab et N'sa » forment le réseau hydrographique, qui abouti à la sebkha Safiouna située au Nord de la cuvette de OUARGLA montrant un ruissellement insignifiant :

1. 1- Oued M'Zab :

L'oued M'Zab coule d'Ouest en Est sur environ 320 kilomètres de la région de Botma Rouila à 750 mètres d'altitude, jusqu'à la Sebkha Safiouna à 107 mètres située au Nord de la cuvette de Ouargla. La surface du bassin versant est de 5000 km². Il n'y a pas d'écoulement pérenne. Les crues sont exceptionnelles, les dernières observées datent de 1901, 1951, 1991 et septembre 1994. Le débit mesuré en 1994 a atteint 13,5 m³/seconde.

1. 2- Oued N'sa :

Le bassin versant de Oued N'sa couvre une superficie de 7800 km². Il coule selon une direction Ouest-Est dans son cours supérieur, en direction Nord Nord Ouest – Sud Sud Est dans son cours moyen sur une longueur d'environ 100 kilomètres et de nouveau vers l'Est en son cours inférieur pour se déverser dans la sebkha Safiouna. Les crues sont également exceptionnelles. La dernière date de 1994, où le débit enregistré a été de 35 m³/seconde.

1. 3- Oued M'ya :

Le bassin de l'oued M'Ya couvre une superficie de 19800 Km². Les écoulements sont plus fréquents en Novembre, Octobre, Mai et Juin. Les crues de l'oued M'Ya se perdent à 200 kilomètres en amont de la ville de Ouargla.



Chapitre IV : Hydrogéologie

IV.1. Introduction:

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (ERESS, 1972, OSS, 2003) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye (Figure IV-1). 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). Le domaine du SASS (système aquifère du Sahara septentrional) couvre une superficie d'environ 1.000.000 de km² et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert, et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye. Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas», et le plateau de la Hamada El Hamra.

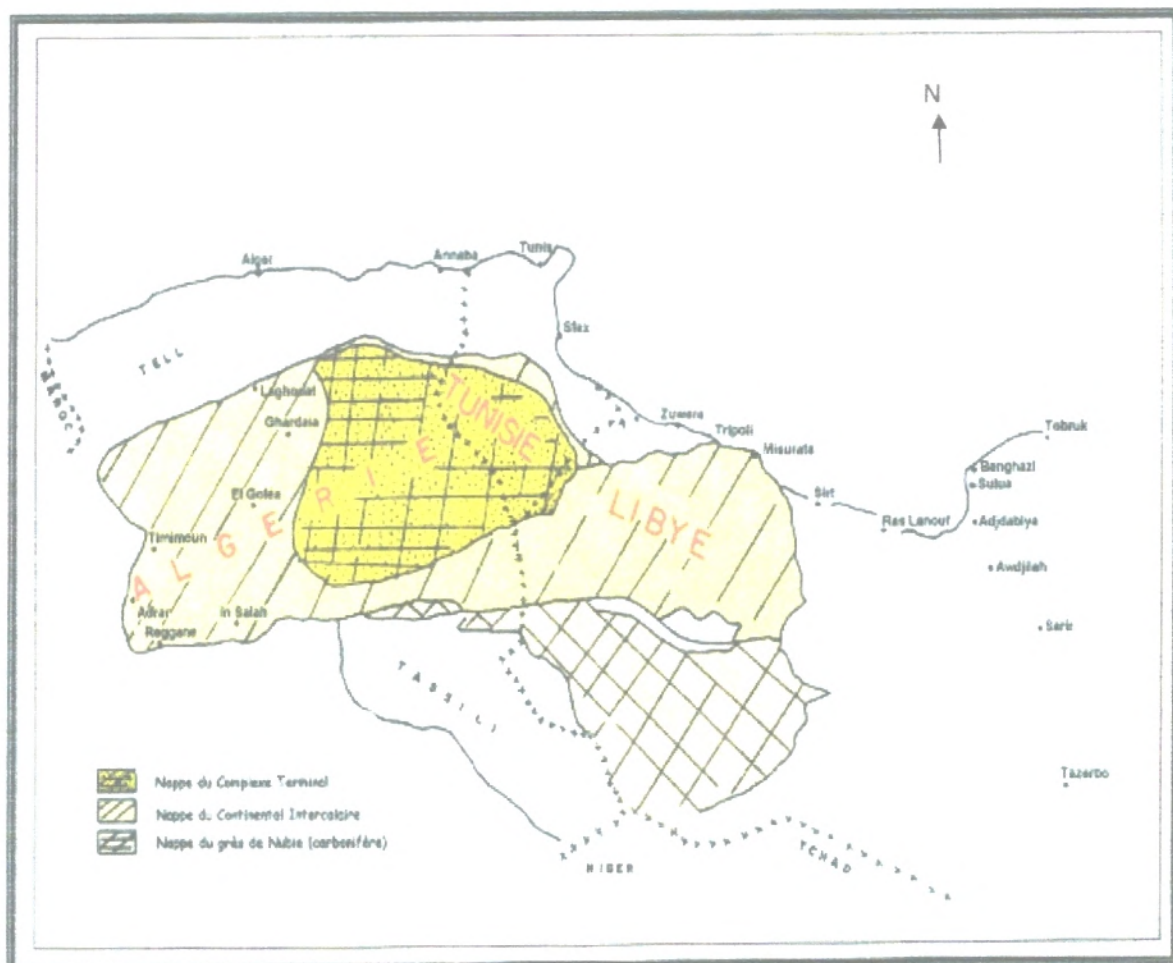


Figure IV.1 Situation générale des aquifères du Sahara septentrional (source ANRH. CHABOUR 2006)

IV.2. Aperçu sur l'hydrogéologie générale de la plateforme saharienne :

C'est en 1968 que l'UNESCO a entrepris une étude d'évaluation des ressources en eau du Sahara septentrional (ERESS), Cette étude a été achevée en 1972 (Pallas PH., 1972 In CHABOUR 2006). Elle concerne un vaste territoire, d'une surface de 800 000 km² et englobe à l'époque le Sahara algérien et une partie de la Tunisie. Son objectif est la détermination des ressources en eau en vue d'aboutir à une politique cohérente de gestion des ressources relatives aux deux importantes nappes du Sahara : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). La méthodologie adoptée consiste en :

- confrontation de ces besoins avec les capacités d'investissements et de réalisation
- construction de modèles mathématiques et analogiques des différentes nappes du Sahara
- réalisation de simulations exploratoires, pour déterminer les limites techniques des débits à ne pas dépasser par zones
- formulation définitive des hypothèses forte et faible en répartissant les prélèvements futurs dans chaque zone en tenant compte des résultats des simulations exploratoires.
- simulation des hypothèses forte et faible et traduction des résultats avec l'intégration du territoire libyen, l'étude du système aquifère du Sahara Septentrional (SASS) a été confiée à l'observatoire du Sahara et du sahel (OSS, 2003). A cette échelle (Figure IV-1), ce système couvre une étendue de plus d'un million de km² dont 700 000 se trouvent en Algérie, près de 80 000 en Tunisie et 250 000 en Libye.

Les synthèses hydrogéologiques en 2006, font part de 8 800 points d'eau (forages et sources) : 3 500 au Continental Intercalaire et 5 300 au Complexe Terminal (CHABOUR 2006).

IV.3. Le Continental 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 60 000 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 marins.

IV.3.1. 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 (Figure IV-2). 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, vu que notre zone d'étude se situe sur la partie orientale du bassin nous nous limiterons à sa description uniquement sur celle-ci.

Le bassin occidental et oriental, vu que notre zone d'étude se situe sur la partie orientale du bassin nous nous limiterons à sa description uniquement sur celle-ci.

A la périphérie du Sahara, le continental intercalaire se termine en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

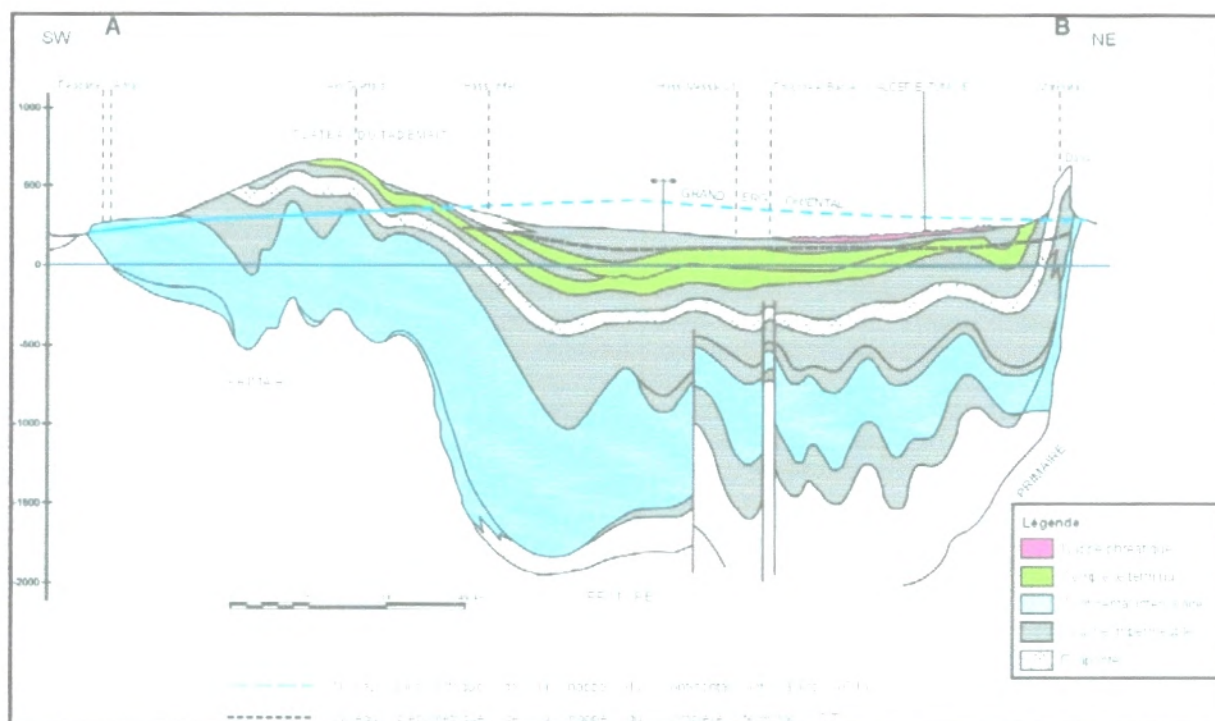


Figure IV.2. Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional (ERESS 1972 In BG 2004)

Au sens large, le continental intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. La définition donnée par (ERESS, 1972) est que la limite aux formations clastiques (argilo gréseuses) véritablement continentales et susceptibles de constituer un ensemble aquifère homogène sur le plan lithologique.

Le CI ainsi défini peut occuper une position variable dans l'échelle stratigraphique: si le toit est défini comme la base du cénomaniens argileux (sauf dans le nord-ouest), il n'en est pas de même pour le mur qui est situé, suivant les régions, entre la discordance hercynienne et le Barrémien.

Le CI n'est pas constitué uniquement d'horizons perméables. La composante argileuse peut représenter en proportion une place importante. Il a alors été effectué une distinction du réservoir utile. Ainsi, dans la lithologie du Continental Intercalaire, on distingue:

- Les grès, quand les couches renferment moins de 10% d'argiles,
- des grès argileux, s'il y a de 10 à 50% d'argiles,
- des argiles, quand il y a plus de 50% d'argiles.

Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'ouest (Gourara, Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras. A l'est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression d'oued Righ.

Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas saharien.

IV.3.2. Alimentation du CI :

Plusieurs hypothèses ont été émises concernant la recharge des aquifères sahariens, notamment celui du continental Intercalaire qui a été longtemps considéré comme étant une nappe fossile d'où la notion de Paléorecharge. La plupart des études ERESS(1972), Guendouz (1985), Guendouz et al. (1997), OSS (2003); baba sy, 2005 confirment que la partie la plus importante des réserves du Continental Intercalaire a été emmagasinée durant les périodes pluvieuses notamment à la fin du Pléistocène. Il s'agit donc de recharge paléoclimatique. Cependant, il est de plus en plus admis, qu'en plus de ces réserves générées pendant les derniers humides, il existe des apports continus à partir des limites du bassin. Les cartes piézométriques font ressortir les zones d'alimentation et les zones de vidange, alors que les résultats des analyses Isotopiques traduisent la répartition spatiale des âges des eaux TOUAHR A,2013.

La carte piézométrique établie par ERESS 1972 montre que cette partie orientale de l'aquifère peut être alimentée par :

- le piémont Sud atlasique du NW.
- le plateau de Tinhert.
- le Dahar en Tunisie

Les eaux en provenance du Nord-Ouest se divisent sur l'axe de la dorsale du M'zab approximativement suivant deux directions, une partie s'écoule vers le Sud et le Sud-ouest (Gourara, Touât et Tidikelt), et l'autre partie s'écoule suivant une direction Ouest-Est vers le golf de Gabes qui constitue son exutoire naturel. Les eaux en provenance du plateau du Tinhert s'écoulent vers le Nord-est sous l'Erg Oriental en direction de l'exutoire de Tunisie.

Dans l'ensemble ; ces formations sont faiblement alimentées : environ 1 milliard m³/an au total (OSS, 2003; Besbes and al, 2003) essentiellement aux piémonts de l'Atlas Saharien en Algérie.

IV.3.3. Les exutoires:

Ils sont constitués par:

- Les foggaras: longues galeries drainant, fonctionnent sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des points bas (cas du bassin occidental),
- Les puits artésiens (bassin oriental),
- Les sebkhas: vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

IV.3.4. Piézométrie:

Des cartes piézométriques ont été établies par Cornet(1964), 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 IV-3) 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, 1997In CHABOUR2006), le 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.

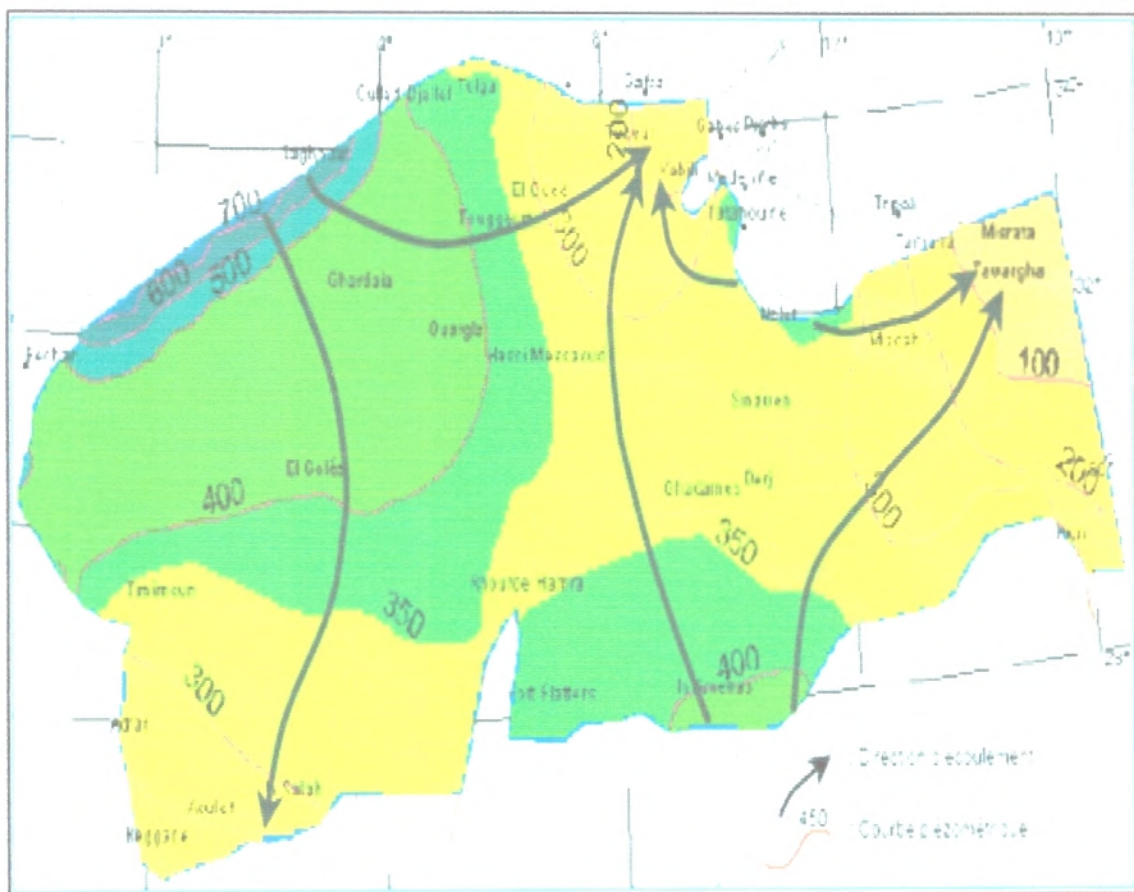


Figure IV.3 Carte piézométrique du Continental Intercalaire (OSS, 2003, in Ould Baba sy)

IV.3.5. Le continental intercalaire à l'échelle de la région d'étude :

A l'échelle de la cuvette d'Ouargla, la nappe albienne 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. (Nezli 2009)

Le débit exploité par forage est de 100 l/s, en moyenne. Les forages captant cette nappe fournissent un débit annuel de 7 Hm³ avec une transmissivité de $8 \cdot 10^{-3}$ m²/s et un coefficient d'emmagasinement de 10^{-3} m²/s (DJIDEL, 2008).

Le faciès lithologique (Figure IV-4) de la nappe albienne 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).

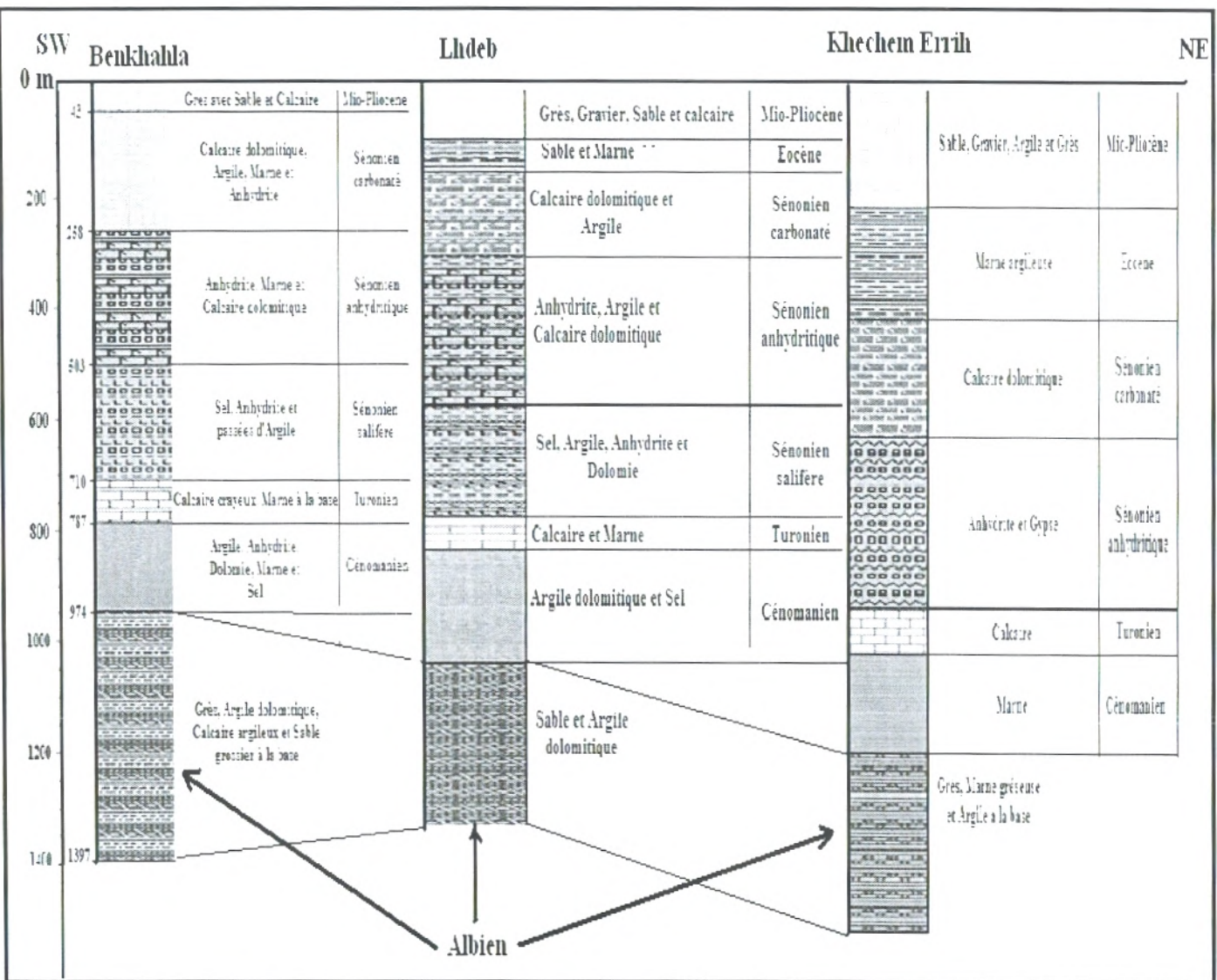


Figure IV.4 Colonne litho stratigraphiques du CI dans la région d'étude d'après TOUHAR, A 2013.

IV.4.Nappe du complexe terminal:

IV.4.1.Introduction :

Le terme de Complexe Terminal désigne les formations les plus récentes déposées au Bas Sahara, en opposition avec les formations du Continental Intercalaire. Dans le bassin oriental, le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal sont séparés par la transgression Cénomaniennne. Le Complexe Terminal au sens strict englobe : le Sénonien, l'Eocène, le Miocène, et le Plio-Quaternaire. Alors que le Complexe Terminal au sens large comprend en plus le Turonien.

En Algérie, la nappe du Complexe Terminal s'étend sur la majeure partie du sous bassin oriental mais aussi en Tunisie et Libye. Il est compris entre la dorsale du M'Zab à l'ouest, le plateau de Tinrhert au Sud, la région des Chotts au Nord et les frontières Tunisienne et Libyenne à l'est.

Les formations peu perméables n'existant pas partout permettent une drainance et une mise à niveau des pressions hydrostatiques des différentes nappes. Ceci a justifié le regroupement des nappes du Crétacé supérieur et de l'Eocène et celles du Tertiaire continental comme un seul et même ensemble hydraulique appelé Complexe Terminal (ERESS, 1972, OSS, 2003).

Cette nappe peut circuler dans l'une ou les trois formations litho stratigraphiques suivantes :(GUENDOUZ 1985)

- Sénonien et Eocène carbonatés
- Miopliocène sableux
- Quaternaires

IV.4.2.Structure et géométrie du Complexe terminal:

La limite du toit du substratum du Complexe Terminal reste assez confuse, du fait de la variation des faciès de l'Eocène inférieur. Ce dernier étant généralement évaporitique (marnogypseux), il est rattaché aux formations du Cénomaniennne qui constitue le substratum continu du Complexe Terminal. A cela s'ajoute la formation du Turonien carbonaté et à forte perméabilité par endroit.

La carte des épaisseurs (Figure IV-5) du réservoir du Complexe Terminal montre que la partie Nord (Biskra) représente l'épaisseur le plus important (plus de 1600 m) et qu'au niveau de la dorsale du M'Zab la cote du toit se situe à 900 mètres. Ces nappes sont très hétérogènes et présentent des discontinuités dans leur extension.



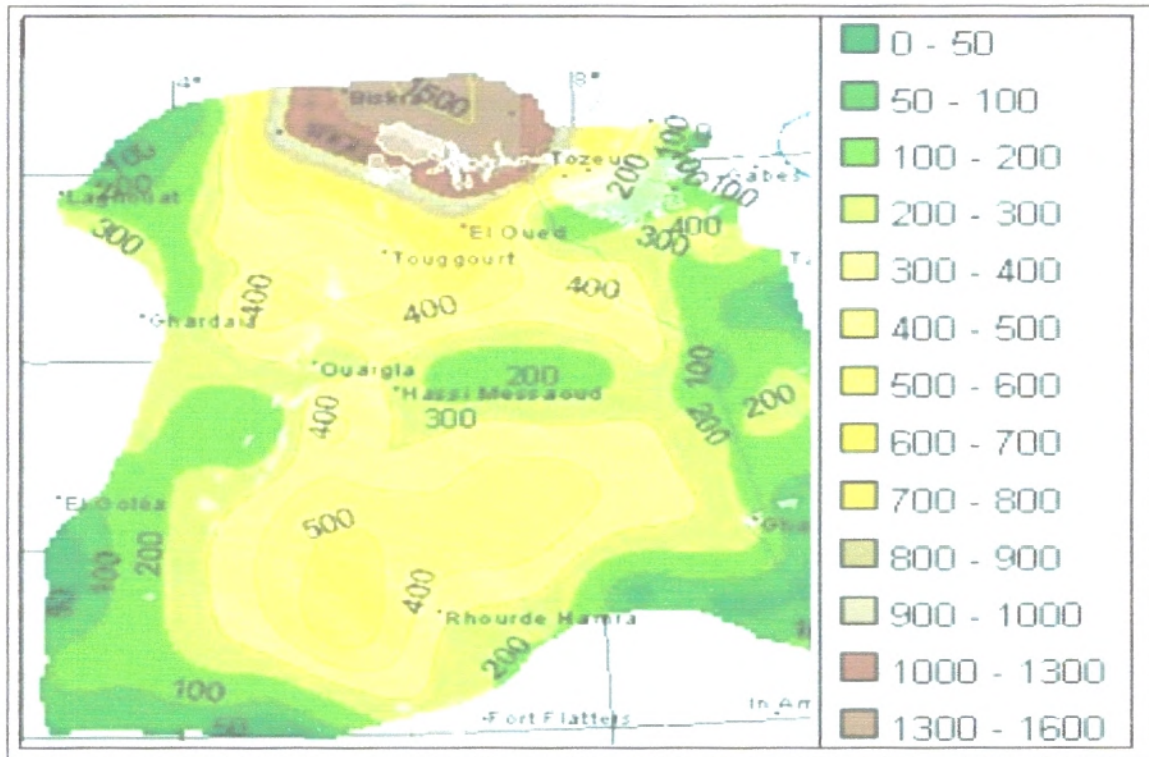


Figure IV.5 : Carte des épaisseurs du CT (OSS, 2003 in Ould Baba Sy)

IV.4.3. Piézométrie:

Depuis Cornet (1964), plusieurs cartes ont été établies et réactualisées (ERESS, 1972). La plus récente (OSS, 2003), la carte (Figure IV-6) 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.

Il faut, cependant, noter que du fait de l'hétérogénéité spatiale et des différents aquifères, l'écoulement se fait en relais, par transfert d'un système à un autre.

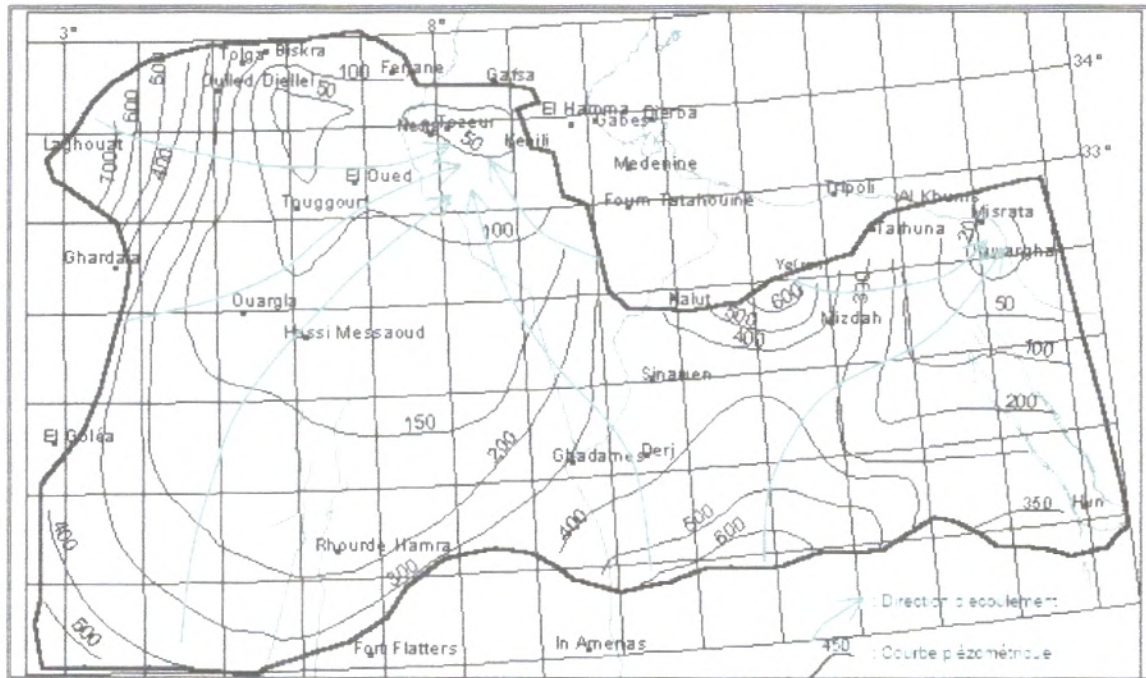


Figure IV.6 Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003a et b, in Ould Baba Sy)

IV.4.4. 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. A.S (1992-1995).)

Les sables argileux du Mio-Pliocène.

Les formations carbonatées du sénonien.

Actuellement, plusieurs centaines de forages sont exploités (123 Mio-Pliocène, et 28 Sénonien-Eocène) (ANRH 2010) pour l'irrigation des palmeraies et des cultures sous-jacentes. Dans la zone d'étude le CT est composé (Cornet, 1964. ANRH, 2004 In NEZLI 2009) par : (Figure IV-7)

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.

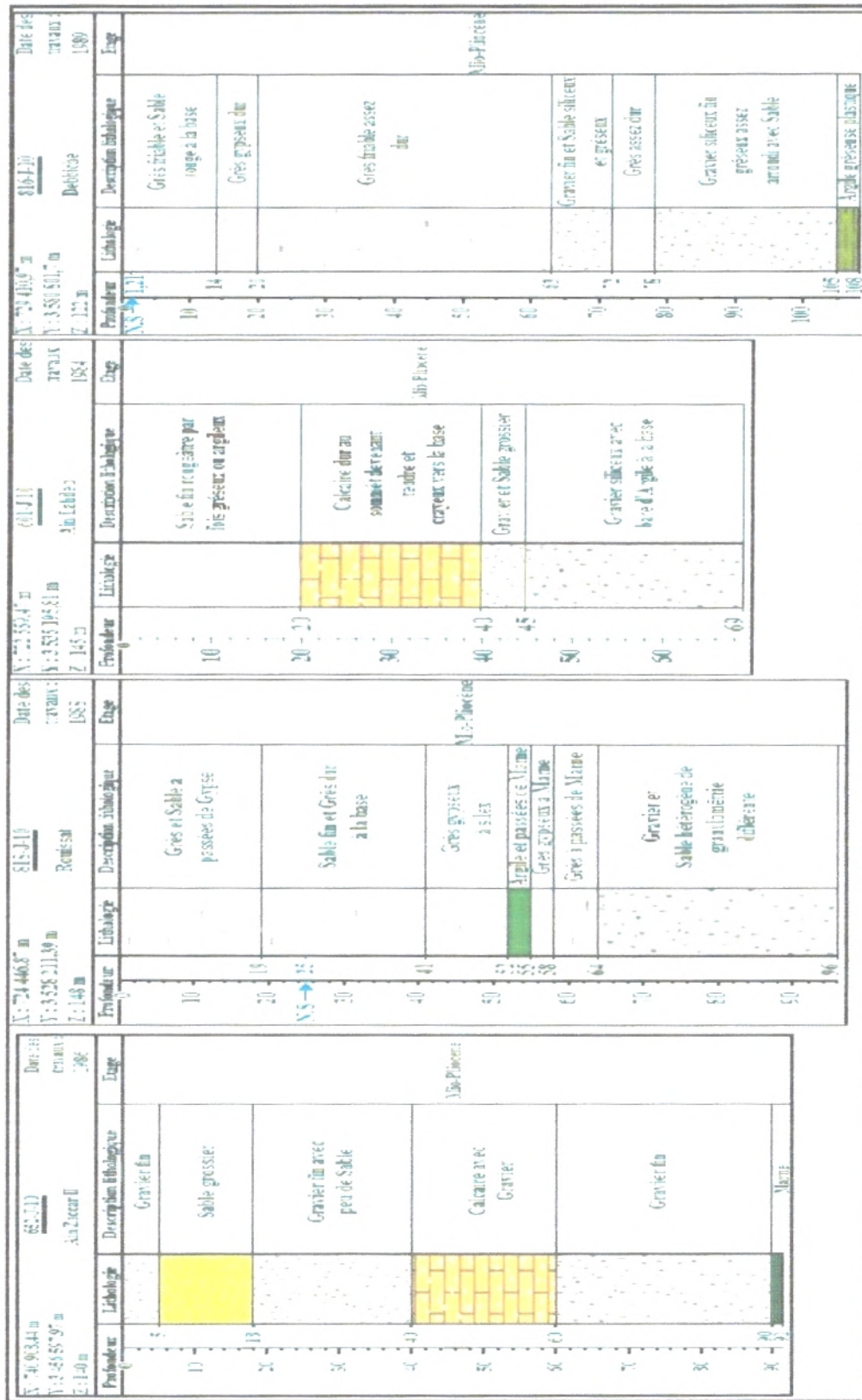


Figure IV.7 Colonne litho stratigraphiques du CI dans la région d'étude

La piézométrie de nappe du complexe terminal montre un écoulement du Sud-ouest vers le Nord-est comme reconnu à l'échelle du bassin, La carte piézométrique (Figure IV-8) dressée

à l'échelle de la cuvette (BELLAOUER, 2008) montre les principaux axes d'écoulement suivants :

- Un écoulement Sud-Nord, du centre ville de Ouargla -Rouisset vers la zone de N'Goussa;
- Un écoulement SW-NE, de la ville de Ouargla vers la zone des Chotts (Oum-Eraneb).

Les paramètres hydrodynamiques au niveau de la zone d'étude sont définis comme suit

- 8.10^{-3} à 9.10^{-2} m²/s pour la transmissivité.
- 5.10^{-3} à 3.10^{-2} m²/s pour le coefficient d'emmagasinement.

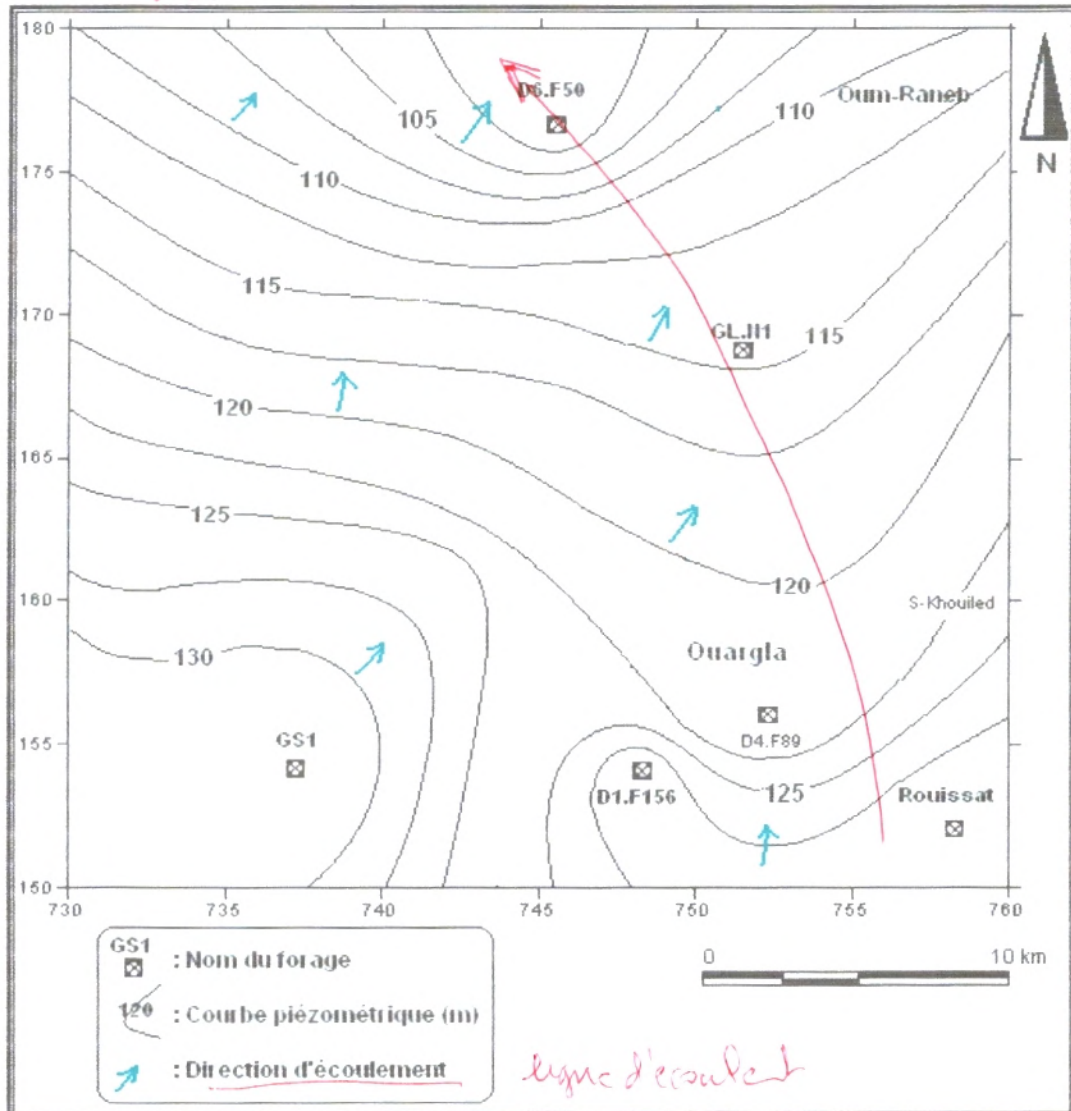


Figure IV.8 Carte piézométrique du "CT" dans la cuvette d'Ouargla (A, Bellaouer 2008)

IV.5. Nappe phréatique:

*page 40
 150 forages
 ici que S₁₁*

IV.5.1. Introduction:

Cette nappe contenue dans les alluvions de la vallée de l'oued Mya, couvre pratiquement toute la cuvette de Ouargla, est caractérisée par une forte salinité (plus de 20 g/l), est géologiquement logée dans des niveaux quaternaires sableux.

Dans l'agglomération et dans les palmeraies, sa profondeur varie, en moyenne, entre 0,5 m et 1,5 m par rapport au niveau du sol. L'alimentation de cette nappe est assurée principalement par infiltration des eaux usées urbaines de la ville de Ouargla et ses municipalités (Rouisset, Aïn El-Beida, Sidi Khouiled, N'Goussa, Hassi Ben Abdallah) ainsi que des eaux de drainage des périmètres agricoles.

Les cartes piézométriques établies à l'échelle de la cuvette, par L'ENAGEO, BG et l'ANRH (campagne 94 et les campagnes récentes 2003, 2004, 2009, et 2011) montrent clairement qu'il existe deux zones distinctes séparées par une ligne de partage des eaux au niveau du Hassi Miloud et Bour El Haïcha, ce qui se traduit par deux écoulements, l'un vers le Nord c'est-à-dire vers Sebkat Safione et l'autre vers l'Ouest (Sebkhet Bamendil).

La nappe est présente partout à l'échelle de la région. Son épaisseur varie de 1 à 8m et repose sur un niveau imperméable étanche, qui occupe tout le fond de la vallée d'Ouargla. Sa frange capillaire surgie souvent sur la surface du sol sous forme de chotts qu'on trouve de part et d'autre de la ville d'Ouargla. Elle est relativement profonde dans les points de haute topographie (Ergs), et moins profonde dans les zones à proximité des palmeraies irriguées.

IV.5.2.Lithologie:

D'après les études faites par ENAGEO, 1993 /94, BG et LTPS (laboratoire des travaux publique du sud) en 2004 au niveau de la cuvette d'Ouargla et les sondages carottés qui permettent de subdiviser la lithologie de la nappe superficielle de la cuvette en trois classes principales: (Figure IV-9)

- Classe A :

C'est la classe la plus répandue, elle représente $\approx 75\%$ des terrains. On distingue :

- Une première couche dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m, constituée de sable fin à moyen légèrement gypseux avec une consistance de moyenne compacité;
- Une deuxième couche constituée de sable argileux compacté, dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m.

- Classe B :

Elle caractérise les chotts et les sebkhas où on distingue :

- Des encroûtements gypseux très salés dont l'épaisseur varie de 1 à 2m
- Des sables limoneux avec un passage tufeux.

- Classe C:

Elle caractérise les versants de la cuvette et le plateau Moi -Pliocène. On distingue :

- Un matériau détritique constitué de grès consolidé (glacis) et de sable limoneux pauvre en gypse dont l'épaisseur est supérieure de 10 m.
- Du sable grossier compacté.

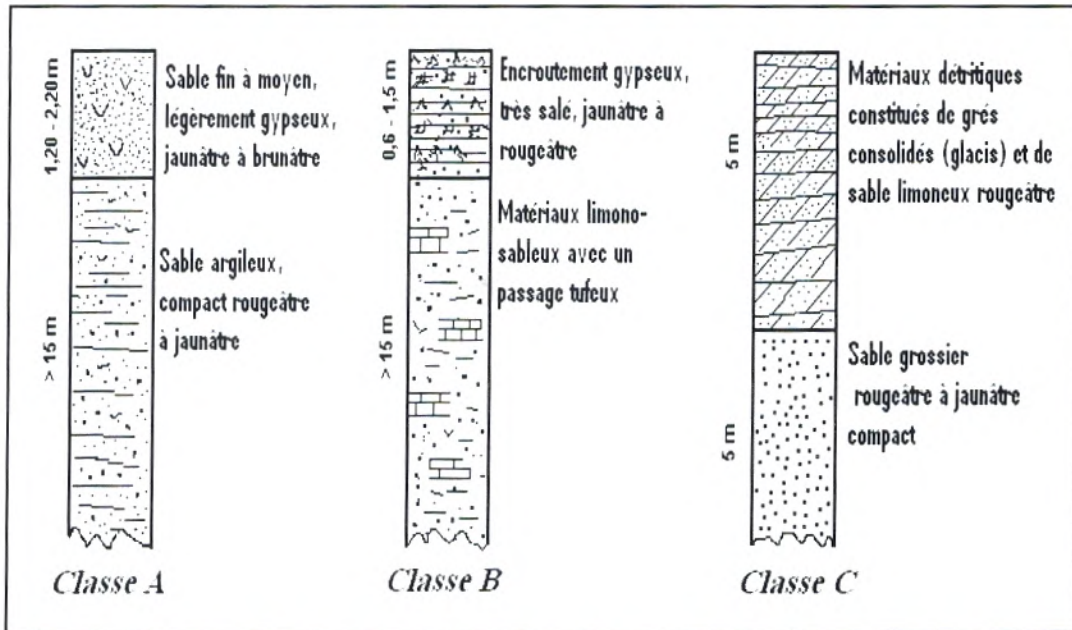


Figure IV.9 Log géologiques des formations de la nappe phréatique (Djidel, 2008)

IV.5.3. Caractéristique hydrodynamique de la nappe phréatique:

Aucune étude hydrodynamique n'a été réalisée concernant la nappe phréatique, mise à part les essais géotechniques du laboratoire des travaux public du sud (LTPS) sur des localités dans la cuvette, ou bien les interprétations des données piézométriques effectuées par l'ANRH.

IV.5.3.1. Granulométrie:

LTPS a effectué des analyses sur des échantillons représentatifs sur la cuvette (profondeur de 0 à 3 m). L'examen des courbes granulométriques montre d'une manière générale qu'il s'agit des sables fins à moyens avec un pourcentage d'éléments argileux et limoneux qui varie de 7 à 12 %.

IV.5.3.2. Porosité:

La porosité totale d'un échantillon est égale au rapport, exprimé en pour cent du volume de vides au volume total : $n = V_v / V_t$. Des mesures de la porosité ont été effectuées sur des échantillons prélevés sur des profils du sol représentatif de la cuvette (LTPS 1995). Les valeurs de la porosité déterminées varient entre 10 et 30 %.

IV.5.3.3. Perméabilité et Transmissivité:

La perméabilité dépend à priori du milieu solide-fluide (porosité, granularité, salinité) et également des conditions hydrogéologiques de chaque zone (zone de recharge, zone centrale, exutoire). Le coefficient de perméabilité moyen de la nappe phréatique varie entre $1.27 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ et $5.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. Tandis que, la transmissivité $K=1.90 \text{ m}^2/\text{s}$

IV.5.3.4.Coefficient d'emménagement:

Le coefficient d'emménagement (S) est le volume d'eau exprimé en pour cent, que l'on peut retirer par gravité d'un prisme vertical de terrain saturé de section unité. Les valeurs de S varient entre 10^{-2} et 2×10^{-1} (HADJ ABD EL-RAHMANE, 1998).

IV.5.4.Piézométrie de la nappe phréatique:

IV.5.4.1.Réseau piézométrique:

Un réseau piézométrique de 120 piézomètres a été établi par l'ENAGEO et ANRH en 1992, qui servi de base à l'établissement de la première carte piézométrique de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla (ENAGEO 1993). De ce réseau initial ne reste que 65 piézomètres qui sont fonctionnels actuellement (ANRH 2010).

IV.5.4.2.Historique:

IV.5.4.2.1.Avant 1956:

Les fluctuations du niveau de la nappe phréatique sont étroitement liées à l'histoire des palmeraies, à l'exploitation des ressources en eau artésienne et aux efforts d'assainissement consentis pour lutter contre les nuisances qui en ont résulté.

En 1949, le réseau de drainage est rénové, 20 km de drains nouveaux sont réalisés ainsi que 5 grands collecteurs. Ces travaux se poursuivent en 1950 et fin 1951, grâce à 30 km de drainages nouveaux, le niveau de la nappe phréatique a baissé de plus de 1 m.

IV.5.4.2.2.Après 1956:

En 1956, le forage "Albien I" au Sud-est du Ksar a servi à la revivification des palmeraies anciennes et à la création de nouvelles plantations. Parallèlement, l'exploitation de la nappe du Complexe Terminal est développée, le réseau de drainage étendu et rénové.

Les eaux de drainage qui se déversent dans le Chott provoquent une élévation sensible du niveau de l'eau en saison froide. En même temps, le développement de la ville et l'évacuation des eaux urbaines provoquent une augmentation du niveau de la nappe phréatique.

A cette année et pour abaisser le niveau de la nappe phréatique; une exhaure éolienne a été installée afin d'évacuer l'eau vers Sebket Oum Eraneb. Le débit de $120 \text{ m}^3/\text{h}$ s'est révélé insuffisant et deux groupes motopompes ont été adjoints à l'éolienne portant le débit total à $255 \text{ m}^3/\text{h}$ (BG 2004).

IV.5.4.2.3.En 1968 :

La direction d'Hydraulique de la wilaya d'Ouargla, a établi une carte piézométrique en Avril-Mai 1968. La surface de la nappe forme un dôme culminant à la cote de 134,5 m sous le quartier Duprez avec une pente régulière en direction des chotts où elle n'atteint plus que la cote 128 m et même 127 m tout au Nord (Figure IV-10).

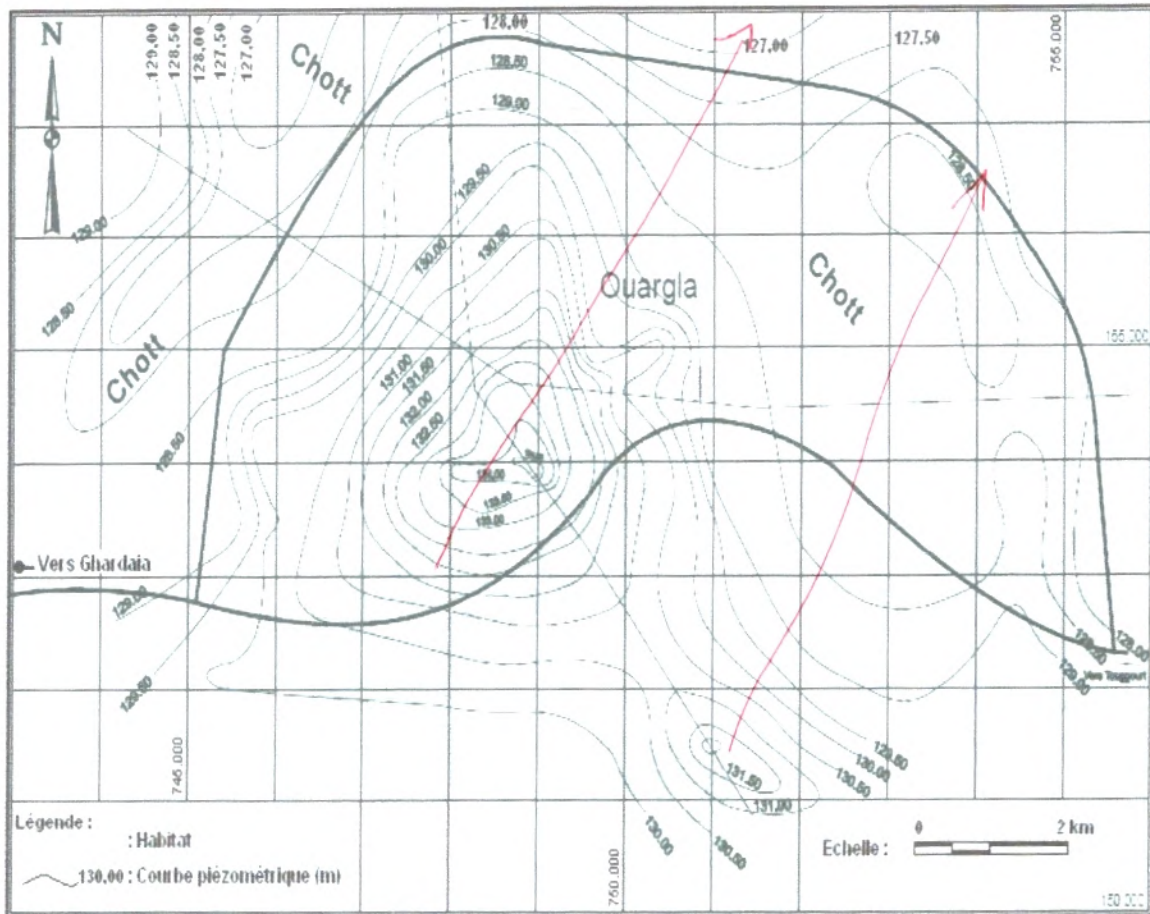


Figure IV.10 : Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968 (DHW-Ouargla, 1968In BG 2004)

IV.5.4.2.4. Entre 1992 -2002:

Durant la période allant 1992 à 2002, une baisse générale de niveau piézométrique a été constatée. Et que Seuls quelques piézomètres présentait une remontée du niveau égale ou supérieure à 10 cm.

IV.5.4.2.5.En2003:

D'après la carte piézométrique établie par BG (Figure IV-11) on constate que le sens d'écoulement principal des eaux de la nappe phréatique est de sud vers le nord, les écoulements secondaires sont de différentes directions, et essentiellement vers les chotts et sebkhas environnantes.

Le point le plus haut de la nappe est situé sous la ville d'Ouargla, le niveau d'eau dépasse 134m. L'écoulement est:

- vers Sebkhet Bamendil au Nord.
- vers le Chott à l'Est.
- vers le Sud.

D'autres points hauts se situent à:

- Bour el aicha (128m); la nappe s'écoule vers le nord -selon l'axe d'écoulement principal- aussi bien que vers l'est (sebkhet Oum Raneb) et vers le sud.

N'Goussa, l'irrigation des plantations crée un point haut (≈117m) d'où les eaux s'écoulent vers le Nord et vers le Sud.

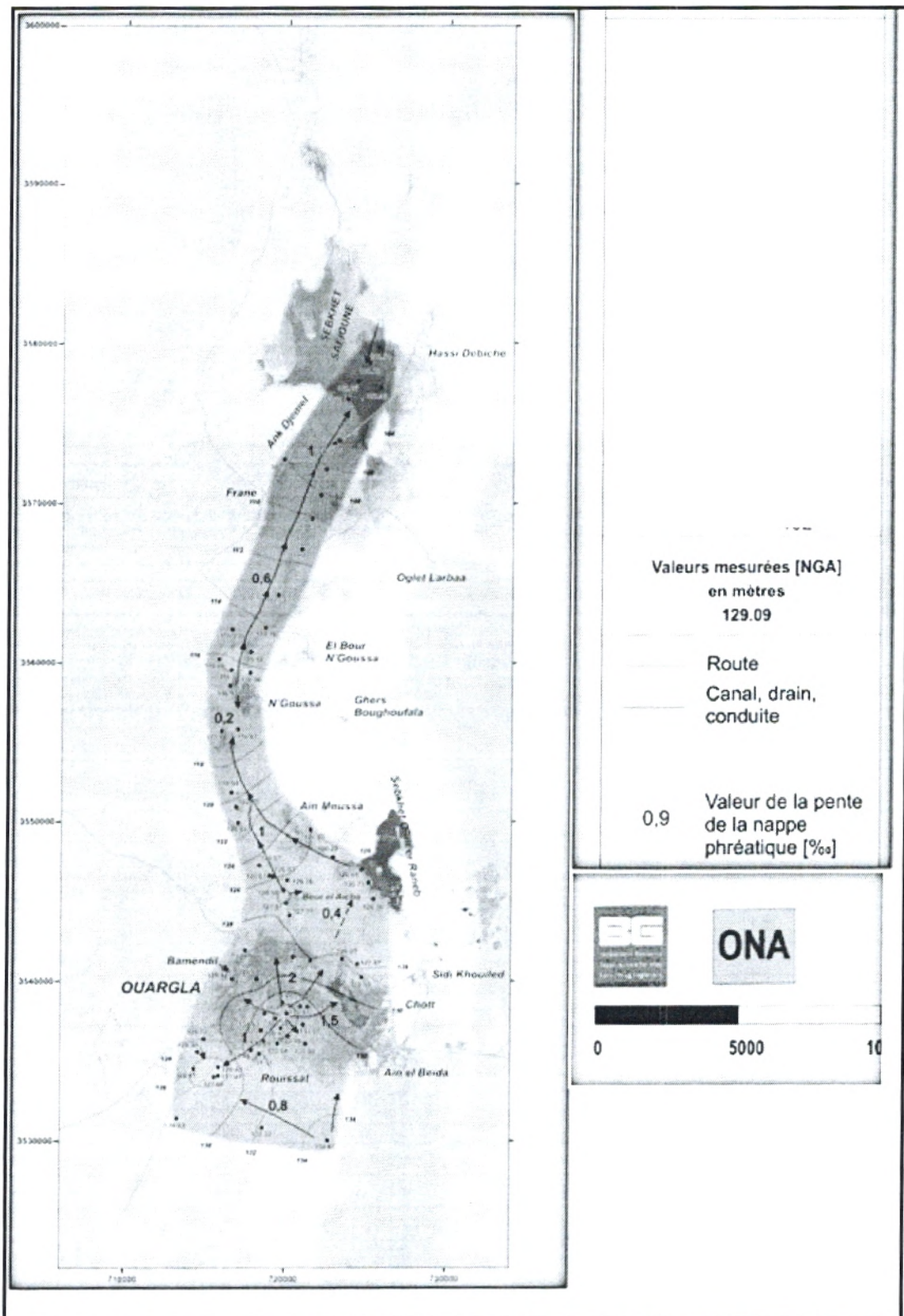


Figure IV.11 Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette d'Ouargla en 2003 (BG, 2004)

IV.5.4.2.6. La piézométrie actuelle 2011:

A l'état actuel, on remarque une baisse générale du niveau piézométrique par rapport aux années précédentes avec séchage considérable des chotts et des sebkas, cet abaissement est le résultat et la conséquence du projet mené par la wilaya d'Ouargla pour évacuer l'excès d'eau de la cuvette beaucoup plus haut vers sebkhet Safione.

Les campagnes d'échantillonnages et les levés de mesure physique sur les différents points d'eau existants dans la cuvette, nous ont permis d'établir une carte piézométrique;(FigureIV-12) qui montre, que le sens l'écoulement principal des eaux de la nappe phréatique prend la direction Sud-Nord, similaire à celui de la nappe du Complexe Terminal.

Dans la partie sud de la carte ; il y a des zones hautes sur le plan piézométrique, sous la ville de Ouargla, le niveau dépasse 138 m, l'eau s'écoule aussi bien vers le nord que vers le Nord Est c'est-à-dire vers les chotts et Sebkhas.

Un autre dôme important apparaît à Bour el Haicha ; constituant ainsi une zone de partage des eaux (niveau d'eau à cet endroit atteint 128m) ; Vers le nord, l'écoulement suit une direction principale sud-nord vers les dépressions, sebkhas et chotts

Le dôme de Bour El Haicha peut être expliqué par :

- La surexploitation des eaux de nappes profondes exploitées (CI et CT) pour l'irrigation des palmeraies et l'usage agricole.
- Possibilité d'une drainance verticale des nappes profondes (CI et CT). (GUENDOZ, A et MOULLA, A(1996).



Chapitre V : Hydrochimie

V.1. Introduction :

L'étude hydro chimique des eaux souterraines permet de confirmer les résultats de la prospection hydrogéologique, de connaître la qualité et les faciès des eaux.

La qualité des eaux de la nappe a pu être définie à partir des puits étudiés. On note bien que l'hétérogénéité lithologique de l'aquifère qui joue un rôle très important.

Le but de cette étude est de présenter de façon uniforme les éléments essentiels des analyses chimiques effectuées sur les eaux des forages étudiés.

L'étude hydrochimique des eaux de la cuvette d'Ouargla a été menée sur la base des analyses chimiques réalisées sur les différentes campagnes d'échantillonnage (CRNA 1994-1996 et en 2011), nous disposons ainsi des analyses des éléments majeurs (cations et anions), qui nous ont permis d'examiner l'évolution spatio-temporelle des eaux des aquifères de la cuvette ainsi l'origine de ces éléments et la minéralisation. Et pour cela nous avons traité les données de l'ensemble des campagnes d'échantillonnage effectuées sur la nappe phréatique, nappe du complexe terminal et la nappe de continental intercalaire, sur la cuvette.

Les paramètres physico-chimiques caractéristiques mesurés pour tous les prélèvements sont les suivants: -la température (°C) -le potentiel d'hydrogène pH -la conductivité électrique (ms/cm)- la minéralisation (mg/L) -le résidu sec (mg/L) -les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , et (Na^+ + K^+)) -les anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) -la dureté totale (ΔHT).

Dans ce chapitre, les résultats des analyses chimiques sont représentés sous forme de tableaux, des graphes et des diagrammes, dont le but est de :

- Déterminer la répartition quantitative des différents éléments chimiques majeurs.
- D'apprécier les différents paramètres ayant une influence sur l'évolution de la qualité des eaux du secteur étudié.
- Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux.
- L'évolution spatiale du chimisme et de l'origine de la salinité.

V.2. Méthodologie :

Les analyses des échantillons d'eau des paramètres physicochimiques ont été réalisées à l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques).

3- Classification des eaux :

3.1- Classification selon la température de l'eau à l'émergence :

La température est un facteur plus important sur le plan physico-chimique en accélérant les cinétiques de réaction et sur le plan microbiologie en favorisant le développement microbien (Popoff, 1991).

Tableau N°12 : classification des eaux selon la température.

Température de l'eau	Classification
Inférieur à 15°C	Eaux froides
De 15°C à 30°C	Eaux hypo thermales
De 30°C à 50°C	Eaux méso thermales
Supérieur à 50°C	Eaux hyperthermales

IV.6. Conclusion :

Le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) représentent deux systèmes aquifères multi couches, qui renferment des réserves en eaux considérables à près de 60 000 milliards de m³ (50 000 milliards de m³ pour le CI et 10 000 milliards de m³ environ pour le CT). Faiblement réalimentées actuellement, ses réserves se sont constituées au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire. La région des chotts constitue un exutoire naturel de ces complexes hydrauliques, indique un sens d'écoulement généralement du Sud vers le Nord.

Le Continental Intercalaire (CI) est constitué d'une alternance des couches grésosableuses et argileuses où les niveaux perméables sont prédominants.

Les conséquences de l'exploitation de ces aquifères sont multiples :

- rabatement des nappes souterraines,
- remontée de la nappe phréatique et salinisation de l'eau et du sol, par accumulation des eaux d'irrigation mal drainées.
- La disparition de l'artésianisme.
- La corrosivité et la température élevée des eaux posent également certains problèmes techniques, qui concernent surtout les forages albiens, qui ne sont pas équipés de façon adéquate.

Tableau V.1 : Quelques paramètres physicochimiques de CI de la cuvette d'Ouargla; CRNA 1994-1996

Code	Temp. °C	pH -	Cond. uS/cm	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
				mg/l							
CI Hadeb 1	49,3	7,35	2190	415	416	10	110	100	97	262	29
CI Hadeb 2	47,4	7,64	2260	478	426	10	117	62	120	350	23
CI Aouinet Moussa	48,9	7,55	2200	420	393	12	219	45	122	128	24
CI El-Bour	54,5	7,34	2960	549	609	0	145	60	126	514	28

La température des eaux du CI varie entre 47,4 et 54,5°C (CRNA 1996), les mesures récents montrent que la température est de 51,3 °C pour (l'hdeb1) et 48,8°C (l'hdeb 2) (ADE 2011). La conductivité électrique dépasse souvent 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, elle varie entre 2190 et 2960 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ pour les quatre forages.

Le potentiel d'oxydoréduction est défini comme un paramètre d'intensité pour un équilibre du bilan des électrons: $p\varepsilon = -\log[e]$, pour lequel $[e]$ signifie l'activité des électrons en moles par litre. Pour l'Eh des eaux de cette nappe, les valeurs sont comprises entre -20 à -40m V. A Ouargla et ses environs, le résidu sec oscillant entre 1,6 et 1,9 g/l (ANRH 2008), la minéralisation totale de l'eau du "CI" est de l'ordre de 1.5 g/l, sa plus forte concentration correspond à la partie la plus profonde et la plus exploitée de la nappe (Figure V-2) (BELLAOUER 2008) sur la cuvette d'Ouargla, et les valeurs sont comprises entre 1.3 g/l à Aouinet Moussa et 2g/l à Elbour.

V.4. Complexe terminal:

Nous disposons des données chimiques de 18 forages captant la nappe du complexe terminal, les mesures réalisées sur les paramètres chimiques sont : (Tableau V-2)

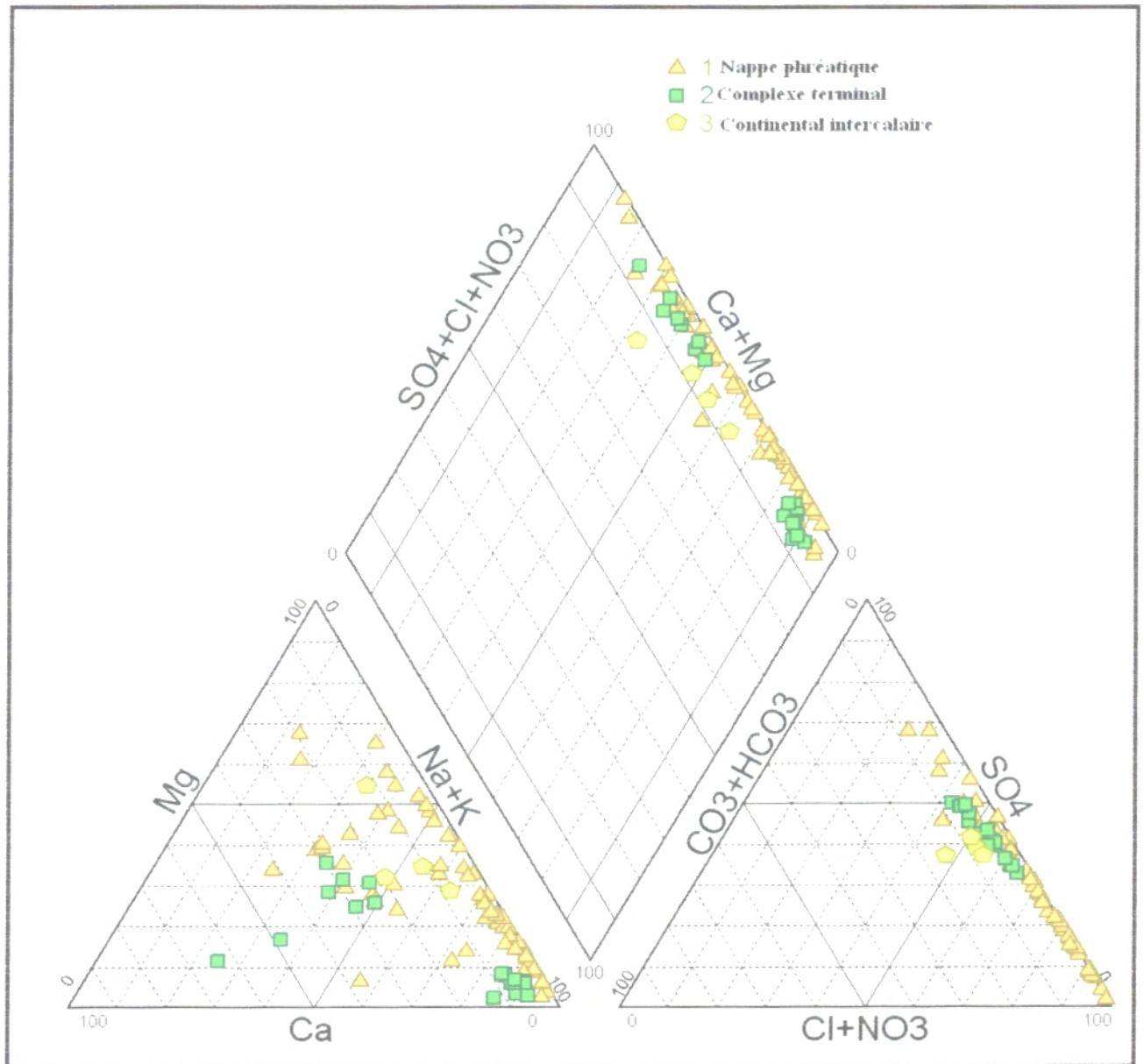


Figure V.1 : Faciès chimiques des eaux de la cuvette d'Ouargla1 994-1996 (ANRH)

V.3. Continental intercalaire:

Les paramètres physicochimiques mesurés des eaux de cette nappe sur le terrain sont : la température, le pH, la conductivité et le potentiel d'oxydoréduction Eh (Tableau V-1).

Tableau V.3 Analyse chimique des eaux de la nappe superficielle CRNA 1994-1996

Code	Désignation	Temp.	pH	Cond.	Eh	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	M2g ⁺	Na ⁺	K ⁺
	Points d'eau	°C	\	µS/cm	mV	mg/l							
1	PZ 07	26,7	7,67	>20000	-39,6	10000	75000	1	98	474	6047	29437	917
2	PZ 09	24,7	7,84	>20000	-49,8	5227	14244	24	138	514	1533	9657	381
3	PZ 10	24,9	7,46	6700	-26,6	2522	2879	71	164	156	405	576	121
4	PZ 18	25,6	7,46	>20000	-27,5	14406	53734	10	141	680	5317	3846	1327
5	PZ 19	24,8	7,72	>20000	-42,9	7252	27035	10	145	494	2375	16720	369
6	PZ 20	27,1	7,59	>20000	-34,8	9371	75685	10	120	581	5549	57360	1130
7	PZ 22	27,8	7,42	>20000	-25,3	8595	40962	11	135	507	3306	24792	467
8	PZ 23	27,2	7,84	>20000	-49,8	14498	72800	10	223	453	5849	66620	1168
9	PZ 34	27,9	7,85	>20000	-51,8	10900	82528	11	101	514	5354	73565	1168
10	PZ 36	28,5	7,54	>20000	-32,7	8356	141835	11	69	510	7100	142500	1903
11	PZ 37	28,5	6,92	>20000	-4,8	14719	145825	21	77	396	10618	133240	143
12	PZ 38	27,0	6,87	>20000	-6,3	15476	118790	15	95	494	8359	123980	934
13	PZ 42	26,2	7,94	>20000	-57,3	32084	94840	9	134	428	3613	64375	1695
14	PZ 44	26,4	7,79	>20000	-49,8	1282	54521	55	202	416	6601	64375	1695
15	PZ 50	28,0	7,31	>20000	-17,7	6437	12451	21	253	210	1457	7262	208
16	PZ 51	25,6	7,46	>20000	-28	6090	19990	9	174	362	2627	9112	208
17	PZ 53	26,0	7,59	>20000	-37,5	10268	87257	13	71	428	5727	42875	1938
18	PZ 54	24,7	7,88	2960	-54,8	825	746	44	86	194	118	260	96
19	PZ 57	24,4	7,69	5300	-39,9	1237	1121	116	92	210	252	365	72
20	PZ 59	24,6	7,83	2770	-47,7	531	436	38	82	114	108	2572	545
21	PZ 60	25,3	7,75	2430	-42	782	527	50	90	90	152	2572	635
22	PZ 61	25,4	7,72	2470	-40,4	735	457	47	100	58	138	6688	635
23	PZ 62	26,3	7,62	7750	-36,3	1813	4310	67	140	177	428	787	72
24	PZ 64	24,5	7,37	>20000	-22,1	9512	40988	6	192	510	6297	15562	716
25	PZ 67	27,1	7,46	>20000	-28,4	13221	48206	6	117	408	4495	29332	738
26	PZ 68	26,6	7,54	>20000	-32,2	16970	65869	5	163	388	7195	71250	1413
27	PZ 75	28,1	7,72	>20000	-43,0	13031	20552	1	297	392	2369	11262	416
28	PZ 76	27,0	7,71	>20000	-41,6	14232	63880	1	361	476	7802	29438	1017
29	PZ 77	28,5	6,47	>20000	-32,2	17887	158995	18	262	882	21977	61687	2182
30	PZ 82	27,1	7,43	>20000	-26,2	16154	27050	3	282	528	3665	12875	1938
31	PZ 84	24,8	7,95	>20000	-56,3	10106	45277	11	169	383	2478	21375	964
32	PZ 92	25,0	7,42	>20000	-26,0	3897	29643	16	169	387	2117	11262	241
33	PZ 93	25,8	7,49	>20000	-29,6	17270	76962	3	90	424	6849	45587	1168
34	PZ 96	25,7	7,71	>20000	-42,8	6558	19897	0	196	606	5955	9657	271
35	PZ 98	26,2	8,02	>20000	-61,0	8062	28788	5	146	432	2893	83187	509
36	PZ 103	24,4	7,22	4700	-10,4	1089	996	4	135	272	209	314	9
37	PZ 104	26,1	7,71	12420	-42,0	3897	6868	1	209	192	977	1286	93
38	PZ 109	23,9	8,37	>20000	-81,0	5283	10855	4	231	169	1283	8080	208
39	PZ 110	23,5	7,59	17180	-35,0	3709	6926	32	171	280	780	7639	233
40	PZ 111	26,9	7,93	7620	-54,7	2474	3587	75	82	236	194	274	46

41	PZ 113	24,9	7,70	>20000	-41,0	12937	36516	10	185	436	1964	21375	485
42	PZ 114	23,7	7,58	4490	-33,1	1003	1157	51	95	252	177	446	222
43	PZ 115	23,9	7,65	2620	-37,5	773	565	43	96	152	104	6946	8
44	PZ 116	24,0	7,62	5620	-34,6	1344	1235	59	97	292	237	472	29
45	PZ 117	23,4	7,70	4770	-40,0	1226	1155	59	94	232	225	699	38
46	PZ 119	22,1	7,69	6080	-40,1	1908	1822	33	119	220	357	150	57
47	PZ 120	23,0	7,96	9500	-56,0	2358	6188	53	90	244	511	150	66
48	LTP 30	25,4	7,12	4080	-7,2	1049	707	29	351	300	32	514	15
49	LTP 33	27,4	7,19	4680	-7,3	1743	801	0	240	316	213	903	56
50	LTP 38	26,0	7,31	>20000	-19,2	8164	33490	4	756	634	1536	5043	331
51	LTP 45	24,2	7,41	3600	-23,4	1437	386	0	205	420	204	277	11
52	LTP 06	25,2	7,64	>20000	-39,3	67774	57560	13	474	540	4674	60837	1640
53	LTP 16	25,2	7,48	11530	-28,6	6254	10125	2	314	136	1461	2714	233
54	LTP Ain-Kheir	25,9	7,52	4010	-31,6	1799	525	60	119	288	247	350	23
55	LTP St.Epuration	24,1	7,39	5510	-22,8	2130	901	10	192	86	470	535	33
56	PT 01	23,1	7,76	>20000	-44,6	13422	14144	26	293	638	3685	21765	565
57	PT Ain-Beida	23,1	7,25	9730	-14,5	3250	4267	9	389	58	627	1090	113
58	PT Hassi-Miloud	23,6	8,08	2510	-61,7	561	502	44	67	181	78	902	37
59	PT Bamendil	19,7	8,66	5430	-97,2	2195	2428	190	98	410	261	911	44
60	LTP 33	27,4	7,19	4680	-7,3	6198	3565	4	161	367	1066	3231	233
61	LTP Ecole F.Chott	27,6	7,60	7340	-35,5	2719	2761	44	172	392	269	2714	95
62	LTP Ch.Hai.Bouزيد	25,6	7,76	\	-44,5	1830	1251	21	122	160	339	509	34
63	Drain Chott Ouargla	21,1	7,67	>20000	-38,5	3595	7701	4	250	90	799	1646	92

Tableau V-4 : Analyse chimique des eaux de la nappe superficielle 2011

échantillons	piézomètres	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
1	P506 BIS	6.9	463.6	2272	4650	753.5	460	445	79.5
2	P165 (P12)	6.7	164.7	2385.6	9600	881.7	732	410.5	66.8
3	P058 bis	7.2	213.5	852	1080	272.5	115.2	305	36.3
4	P054	7.2	146.4	1136	690	256.5	100.8	480	78.8
5	P007	7.1	152.5	2414	2980	881.7	528	377.7	43.3
6	P021	6.8	695.4	2272	10125	961.9	840	479.1	80.7
7	P416	7.7	170.8	1363.2	1625	320.6	159.6	280.9	68.5
8	P001	6.9	158.6	2470	8600	857.7	470.4	675	91.4
9	P430bis	7.1	122	1331.2	1800	569.1	211.2	535	105
10	P041	7.1	420.9	937.2	6600	529.05	535.2	540	95
11	P064	6.7	213.8	2101.6	10080	641.28	479.28	670	112
12	LTPS N°2	6.6	292.8	2073.2	1625	593.1	100.8	280.9	68.5
13	P419	6.9	274.5	2215.2	1800	609.2	302.4	211.3	105
14	P566 bis	7.3	634.4	2128.8	3500	625.2	537.6	459.8	73.7

15	P113	7.1	262.3	2272	7800	448.8	643.2	685.2	88.3
----	------	-----	-------	------	------	-------	-------	-------	------

La température des eaux de la nappe phréatique varie entre 19°C et 28°C (CRNA 1994-96), ces eaux montrent des pH allant de 6 à 8,8. D'autres compagnes récentes montrent des valeurs qui sont entre 6,6 et 7.

La conductivité électrique renseigne sur la minéralisation d'une eau donnée, à Ouargla (nappe phréatique), Les valeurs sont comprises entre 2400 et 20000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Les valeurs du potentiel d'oxydoréduction varient entre -4,8millivolt et -97,2 millivolt à Bamendil (CRNA1994-96).

V.5.1. Origine de la minéralisation, évolution spatiale:

V.5.1.1.L'ion Calcium (Ca^{2+}):

Les ions de calcium existants dans l'eau proviennent de la dissolution des carbonates et de roches gypseuses. Pour les roches carbonatées, l'apparition du calcium résulte de la dissolution des formations (CaCO_3) par l'attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique (CO_2).



En général, les concentrations en calcium des eaux de la nappe superficielle varient de 58 mg/l à 882mg/l (Tableau V-3) (CRNA94-96) et de 256,5 mg/l à 961,9 mg/l (compagne 2011) (Tableau V-4) du sud vers le nord de la cuvette.

V.5.1.2.L'ion Magnésium (Mg^{2+}):

L'existence du magnésium dans les eaux résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitiques, c'est-à-dire la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, ou bien par les formations salifères riches en magnésium « MgSO_4 ». La réaction chimique est accentuée par la présence de l'acide carbonique présente dans l'eau. Les eaux de la cuvette se caractérisent par teneurs minimal enregistrés à LTP30 et dépassent 21900 mg/l à l'axe de Hassi Miloud –Bour El aicha (CRNA94-96), d'autres mesures récentes sont enregistrés lors de la compagne 2011, les valeurs de concentration en Mg^{++} allant de 101mg/l à LTPSN et P054 à 840g/l sebkhet Safione (Figure V-3).

V.5.1.3.Sodium et Potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$):

La présence de ces ions ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) dans l'eau est due au lessivage des formations riches en Na^+ , Cl^- (Argiles- marnes) et des eaux à usage agricole ou domestique. Les valeurs du sodium et potassium varient de 107mg/l à Pz119 (sud ouest de la cuvette) à 144403 mg/l à Pz36 (sebkhet Safioune) (CRNA94-96), et de 316 mg/l au (P_{419}) à Saïd otba et à 782 mg/l au (P_{064}) à Bour el aicha et sebkhet Safioune pour la compagne 2011(Figure V-3). Et cela est dû à l'influence des eaux de Sebkha et à la présence des formations argileuses et marneuses.

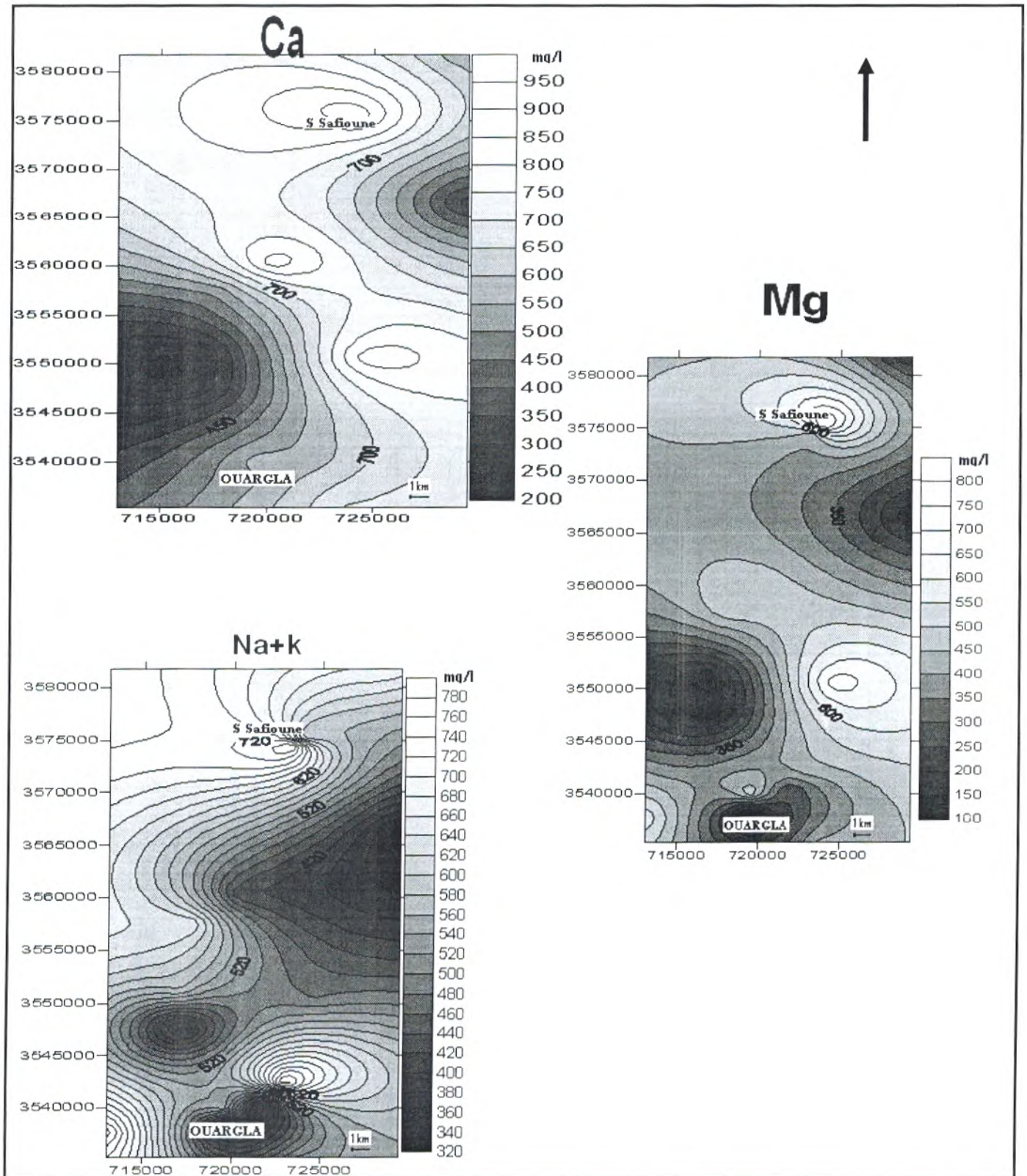


Figure V.3: les cartes d'iso-teneur en différents cations ANRH, 2011.

V.5.1.4.L'ion Chlorures et L'ion Sulfates (SO_4^{-2}) :

Tous ces ions sont présents à des teneurs important comme on peut les voir dans les analyses de différentes compagnes Tableau V-3, et Tableau V-4

Les chlorures qui sont des éléments conservés en solution, il ne subissent aucune interaction physique ou chimique avec les autres phases solides ou gazeuses et ne sont pas dégradés en solution, il a plusieurs origines à savoir :

- La dissolution des sols naturels et le lessivage des terrains salifères ;
- Les engrais chimiques et les pesticides utilisés en agriculture ;
- Les rejets des eaux usées d'origines domestique et industrielle.

La répartition du chlorure des eaux de la nappe phréatique est représentée sur la carte d'isoteneur. On remarque des teneurs basses enregistrés à Hassi Miloud et Bour el aicha (800 à 900mg/l) par rapport aux teneurs élevés dans les sebkhas et les chotts, où les valeurs dépassent 2400 mg/l (Safione et Oum Raneb) (Figure V-4). Ces fortes concentrations s'expliqueraient par soit une évaporation intense et/ ou une dissolution et lessivage des niveaux évaporitiques.

Pour les ions sulfatés, La majorité des points présentent des concentrations supérieures aux normes de potabilité de l'O.M.S. les eaux de la nappe phréatique ont des teneurs varient entre 690 mg/l au (P₀₅₄) situé entre Hassi Miloud et N'Goussa à 10125 mg/l au (P₀₂₁) à sebkhet Safione.

V.5.1.5. L'ion Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les ions bicarbonatés résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon la relation suivante :



Avec :

X : désigne un élément chimique de la roche.

En d'autres termes, la teneur en (HCO₃⁻) dans l'eau dépend d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques à savoir :

- la température de l'eau.
- la concentration du (CO₂) dissous.
- la concentration de l'eau en sels ainsi que la nature lithologique des terrains traversés.

Les concentrations en ions bicarbonatés sont relativement élevés, et les teneurs maximum sont enregistrées dans les sebkhas et les chotts, elles dépassent 690 mg/l au (P₀₂₁) à sebkhet Safione et 122 mg/l à Oglet Larbaa.

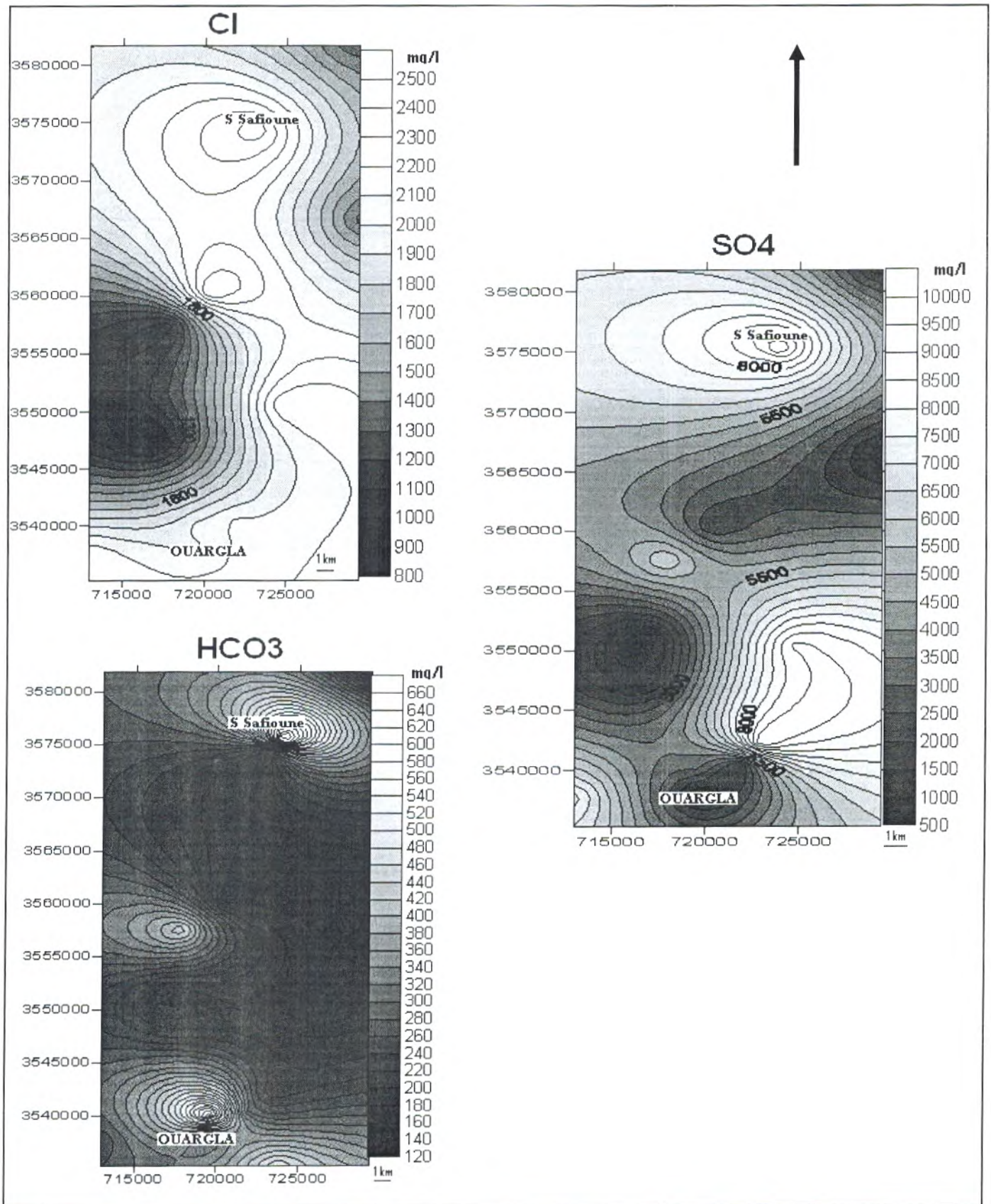


Figure V.4 : les cartes d'isoteneur en différents anions (nappe phréatique cuvette d'Ouargla2011)

V.5.1.6. Indice de saturation :

L'état d'équilibre ou de saturation d'une solution par rapport à un minéral donné est caractérisé par un indice de saturation IS. Le produit d'activités ionique est comparé au produit de solubilité KS à la température de l'échantillon.

Considérons l'exemple d'une solution en présence de dolomite;

Le produit d'activité ionique est défini comme suit:

$$PAI = a_{Ca^{++}} \cdot a_{Mg^{++}} \cdot a_{(CO_3^-)^2}$$

Donc par définition on a:

$$IS = \text{LOG} \frac{PAI}{KS}$$

Si $PAI = KS$ alors $IS = 0$ et la solution est saturé par rapport à la dolomite

Si $PAI < KS$, $IS < 0$, la solution est sous-saturée.

Si $PAI > KS$, $IS > 0$, la solution est sursaturée.

L'indice de saturation vis-à-vis de certains minéraux dans les eaux de la nappe phréatique, est calculé à l'aide de DIAGRAMME. Les résultats sont reportés en tableau (annexe), Figure V-5.

Les eaux de la nappe phréatique sont sursaturées vis-à-vis à la dolomite sur le long d'axe d'écoulement principale de cette nappe qui est de sud vers le nord, et en ce qui concerne la calcite, aragonite, anhydrite et gypse, les eaux prélevées sous la ville d'Ouargla et Hassi Miloud sont sous-saturées et le reste des échantillons sont sursaturés vis-à-vis ces minéraux.

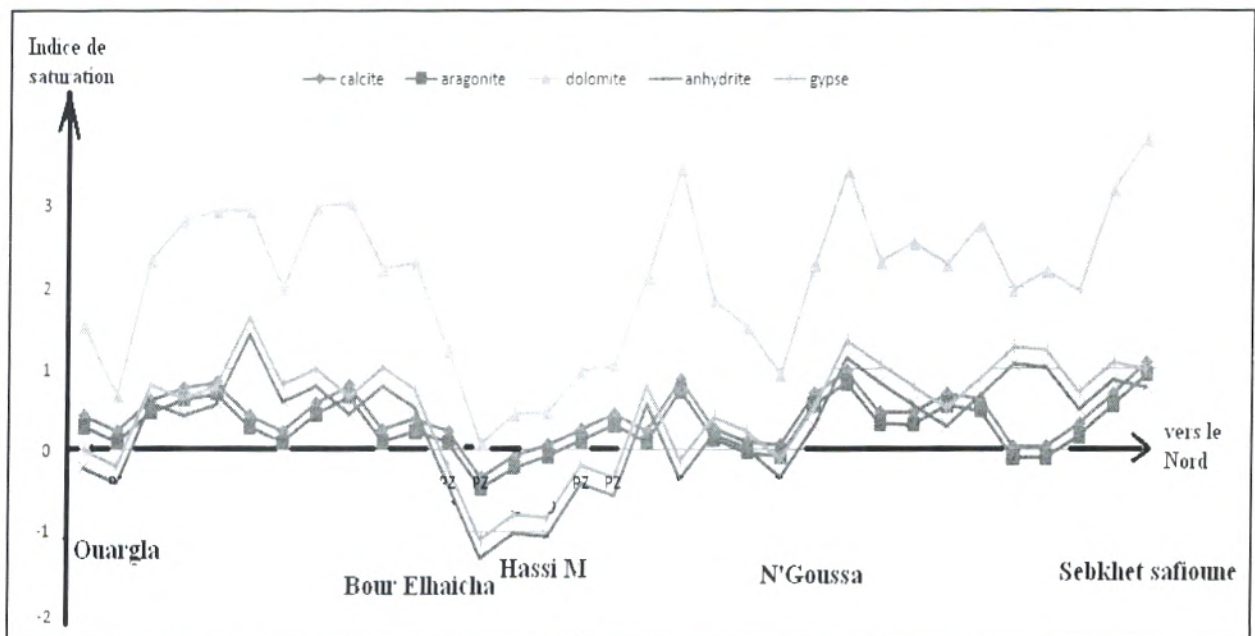


Figure V.5 : Indice de saturation des eaux de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla (CRNA1994-1996)

V.5.1.7. Les rapports caractéristiques :

On appelle rapport caractéristique, le rapport des teneurs de certains éléments chimiques, Ces rapports donnent des indications sur la zone d'alimentation, le contact des eaux avec le milieu solide, ainsi que l'évolution des eaux pendant leur trajet souterraine.

V.5.1.4. Chlorures et Sulfates (SO_4^{2-}) :

Tous ces ions sont présents à des teneurs importantes comme on peut les voir dans les analyses de différentes compagnes Tableau V-3, et Tableau V-4

Les chlorures qui sont des éléments conservés en solution, il ne subissent aucune interaction physique ou chimique avec les autres phases solides ou gazeuses et ne sont pas dégradés en solution, il a plusieurs origines à savoir :

- La dissolution des sols naturels et le lessivage des terrains salifères ;
- Les engrais chimiques et les pesticides utilisés en agriculture ;
- Les rejets des eaux usées d'origines domestique et industrielle.

La répartition du chlorure des eaux de la nappe phréatique est représentée sur la carte d'isoteneur. On remarque des teneurs basses enregistrées à Hassi Miloud et Bour el aicha (800 à 900 mg/l) par rapport aux teneurs élevées dans les sebkhas et les chotts, où les valeurs dépassent 2400 mg/l (Safione et Oum Raneb) (Figure V-4). Ces fortes concentrations s'expliqueraient par soit une évaporation intense et/ ou une dissolution et lessivage des niveaux évaporitiques.

Pour les ions sulfatés, La majorité des points présentent des concentrations supérieures aux normes de potabilité de l'O.M.S. les eaux de la nappe phréatique ont des teneurs variant entre 690 mg/l au (P₀₅₄) situé entre Hassi Miloud et N'Goussa à 10125 mg/l au (P₀₂₁) à sebkhet Safione.

V.5.1.5. Bicarbonates (HCO_3^-) :



Les ions bicarbonatés résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon la relation suivante :



Avec :

X : désigne un élément chimique de la roche.

En d'autres termes, la teneur en (HCO_3^-) dans l'eau dépend d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques à savoir :

- la température de l'eau.
- la concentration du (CO_2) dissous.
- la concentration de l'eau en sels ainsi que la nature lithologique des terrains traversés.

Les concentrations en ions bicarbonatés sont relativement élevées, et les teneurs maximum sont enregistrées dans les sebkhas et les chotts, elles dépassent 690 mg/l au (P₀₂₁) à sebkhet Safione et 122 mg/l à Oglet Larbaa.

Conclusion générale

La cuvette d'Ouargla occupe la partie basse au Nord-Est des déserts du Sahara. Cette région désertique est caractérisée par un climat hyperaride, marqué par de fortes températures estivales et de très faibles précipitations annuelles.

L'étude géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, post paléozoïques, importants : le Continental intercalaire et le Complexe terminal. Ces deux systèmes aquifères (CI et CT) font de la cuvette d'Ouargla une région riche en ressources hydriques.

La géologie de la région de Ouargla est connue par une étude lithologique détaillée allant du Barrémien jusqu'au Mio-pliocène. Les terrains Mio-Pliocènes sont recouverts au niveau de la cuvette par un dépôt quaternaire (alluvions du lit de l'oued M'ya).

Les essais d'identification montrent que le sol de la région d'étude est un dépôt de sable fin à grossier rougeâtre parfois graveleux riche en cristaux de gypse, ainsi que les limons au niveau des dépressions (chotts et sebkhas).

Les analyses chimiques montrent que les sols des dépressions, là où le niveau statique de la nappe est proche de la surface, sont des sols nocifs pour les infrastructures du fait des taux très élevés des chlorures et des sulfates, contribuant ainsi à la dégradation et la détérioration des fondations implantées.

Recommandation

Pour une meilleure prise en charge des problèmes qui touche notre région d'étude d'Ouargla, on suggère :

- ❖ Répartition des piézomètres dans la nappe phréatique le long de la vallée pour surveiller la fluctuation de leur niveau.
- ❖ Etablir un réseau de surveillance périodique qualitatif et quantitatif de toutes les caractéristiques hydrodynamiques et hydro chimique.
- ❖ Penser à l'adoucissement de l'eau dans les régions à forte salinité.
- ❖ Rénover les réseaux d'assainissement pour supprimer toute source de pollution de la nappe phréatique.
- ❖ L'établissement d'un programme adéquat d'équipement des puits : tubage en P.V.C (Johnson) à fin de lutter contre la corrosion.
- ❖ Optimiser de forer dans le continentale intercalaire et le complexe terminal.
- ❖ Contrôler (par digraphie) les forages albiens anciens ou moins tous les cinq ans

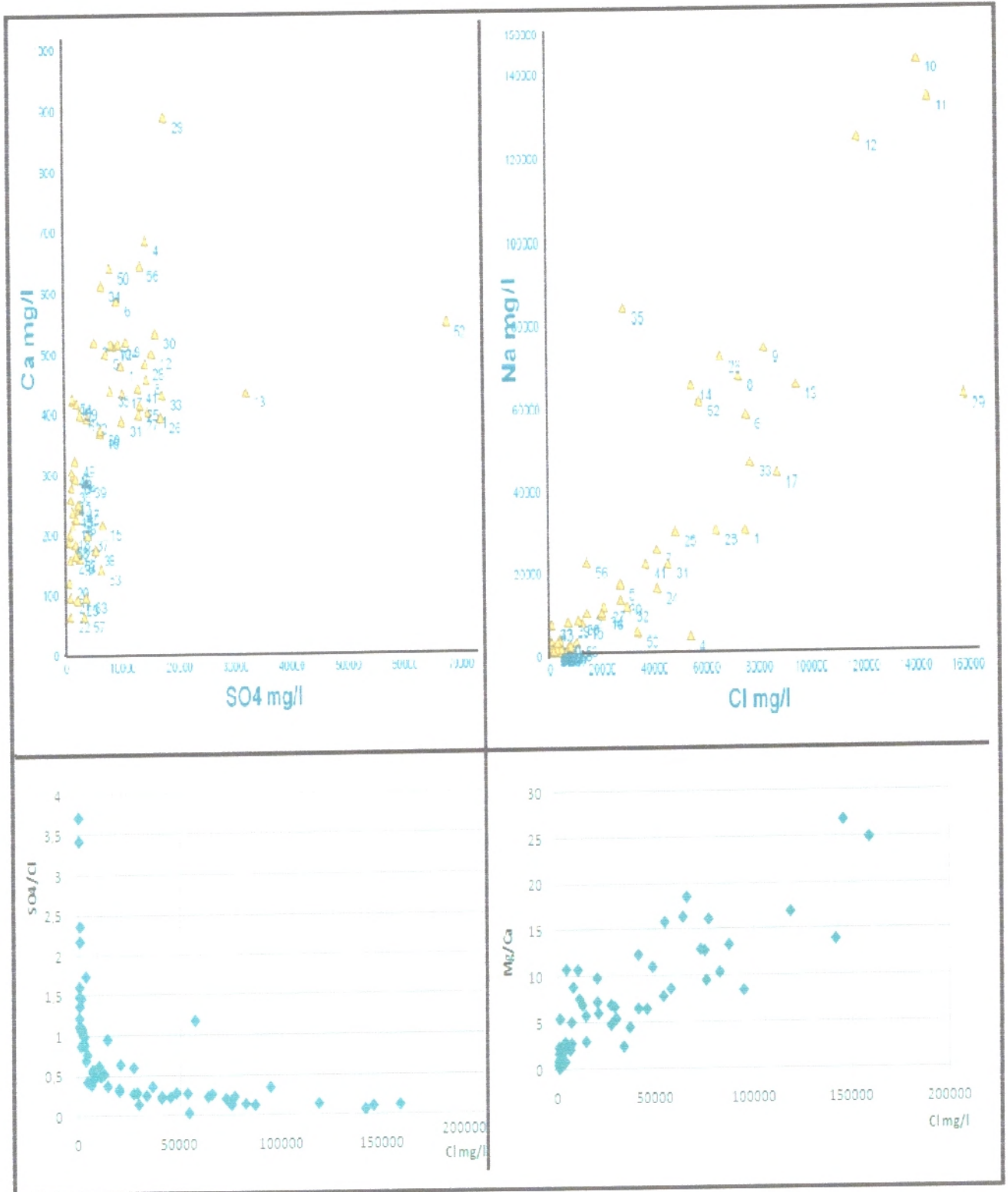
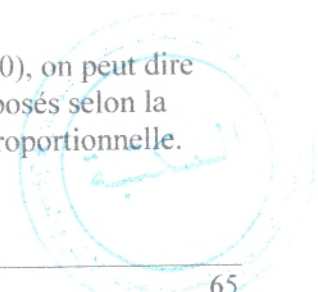


Figure V.6 : Graphes représentatives de quelques corrélations entre les ions des eaux de la nappe phréatique (CRNA1994-1996)

V.5.1.7.3. Couple SO4/Cl- Cl :

Si le rapport SO4/Cl augmente, la teneur en chlorure diminue (tend vers 0), on peut dire qu'il y a une prédominance de SO4/Cl, il implique que les éléments sont disposés selon la branche d'une hyperbole, ces rapports varient d'une manière inversement proportionnelle.



V.5.1.7.4. Couple Mg/Ca – Cl:

On constate que si le rapport de Mg/Ca augmente le Cl augmente, ce qui implique qu'ils ont peut-être une même origine, les éléments Ca et Mg proviennent des roches carbonatées (calcaires et dolomies) existantes dans cette nappe, alors que la présence des chlorures dû à la dissolution et lessivages des évaporites (halite).

V.5.1.7.5. Ca—HCO₃:

La Figure V-7 montre que le Calcium dissous dans les eaux de la nappe phréatique (CRNA1994-1996) est d'origine évaporitique et s'est fait par la dissolution des sels et des gypses, les points encerclés représentent la majorité des échantillons prélevés qui sont tous Au-dessus de la droite de la pente 1 qui sépare l'origine évaporitique de celle carbonatée. Ce dernier est confirmé par l'abondance des sebkhas et chotts et aussi par les conditions climatique qui caractérisent la région tel que l'évaporation intense, la température élevée, l'insolation, etc.

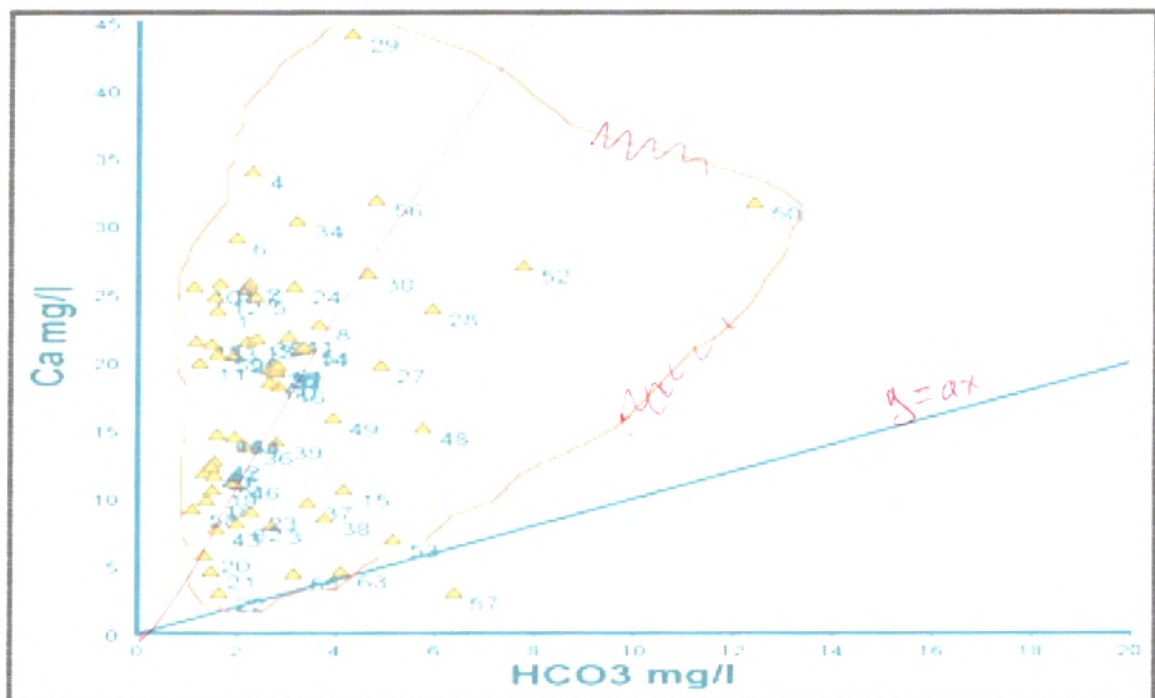


Figure V.7 Couple Ca⁺⁺-HCO₃⁻ des eaux de la nappe phréatique cuvette d'Ouargla (Compagne 1994-1996)

V.5.1.7.6. Tous les éléments en fonction de Cl :

Nous avons une très bonne corrélation entre la somme des cations et anions et la concentration en chlorures, donc à chaque somme (cation + anions) on a une augmentation de Cl (Figure V-8) cela nous laisse supposer que la roche mère dans laquelle l'eau s'écoule est de type évaporitique et ces eaux sont dites des eaux évaporées.



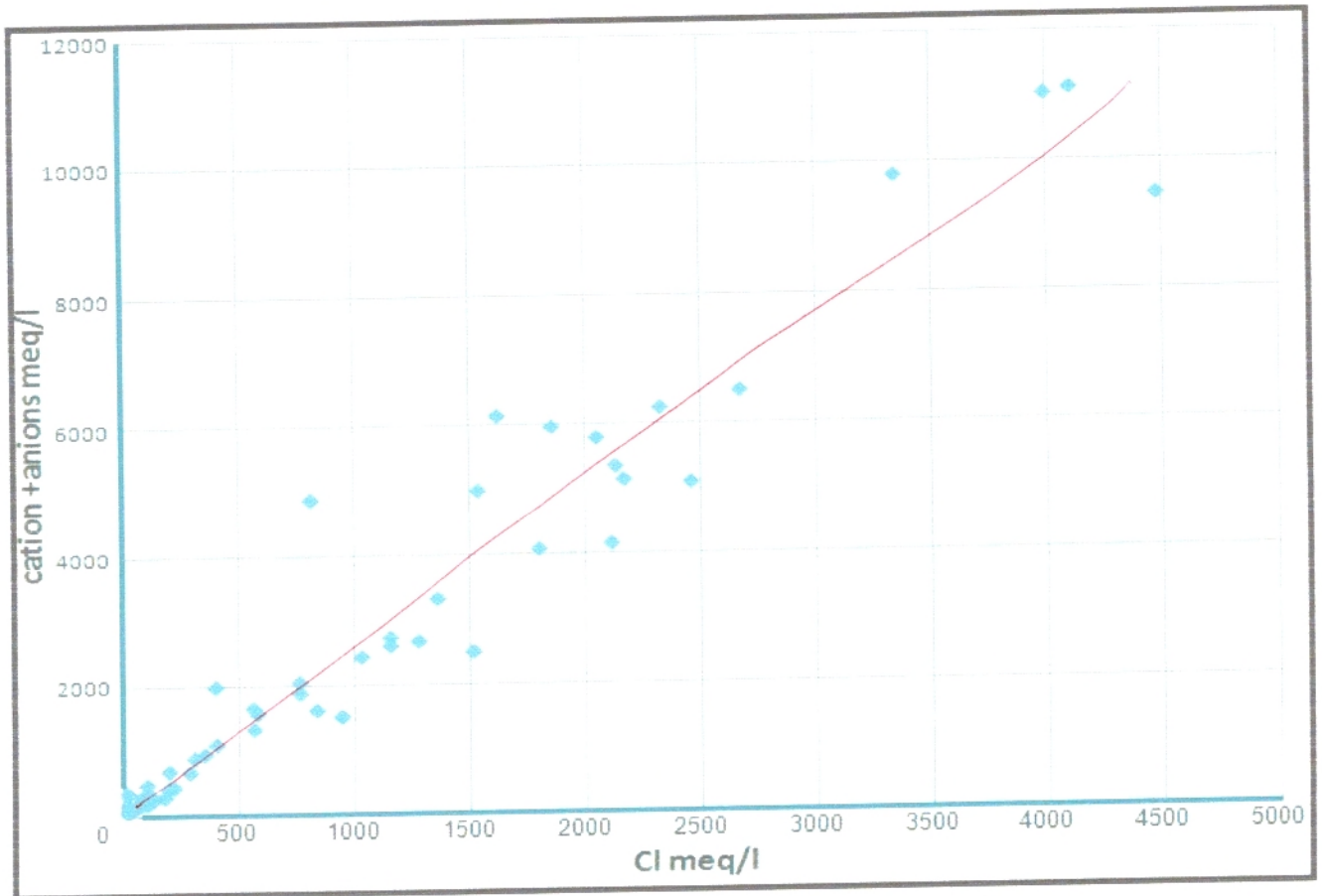


Figure V.8 : Relation entre (cations+anions) Vs Cl des eaux de la nappe phréatique dans la cuvette d'Ouargla 1994-19

Conclusion générale

La cuvette d'Ouargla occupe la partie basse au Nord-Est des déserts du Sahara. Cette région désertique est caractérisée par un climat hyperaride, marqué par de fortes températures estivales et de très faibles précipitations annuelles.

L'étude géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, post paléozoïques, importants : le Continental intercalaire et le Complexe terminal. Ces deux systèmes aquifères (CI et CT) font de la cuvette d'Ouargla une région riche en ressources hydriques.

La géologie de la région de Ouargla est connue par une étude lithologique détaillée allant du Barrémien jusqu'au Mio-pliocène. Les terrains Mio-Pliocènes sont recouverts au niveau de la cuvette par un dépôt quaternaires (alluvions du lit de l'oued M'ya).

Les essais d'identifications montrent que le sol de la région d'étude est un dépôt de sable fin à grossier rougeâtre parfois graveleux riche en cristaux de gypse, ainsi que les limons au niveau des dépressions (chotts et sebkhas).

Les analyses chimiques montrent que les sols des dépressions, là où le niveau statique de la nappe est proche de la surface, sont des sols nocifs pour les infrastructures du fait des taux très élevés des chlorures et des sulfates, contribuant ainsi à la dégradation et la détérioration des fondations implantées.

Les résultats de la densité apparente et les insolubles ont montrés que les affleurements gréseux sont poreux et riches en cristaux de gypse et de sel, ce qui permet des risques des effondrements en cas de contact avec l'eau.



Recommandation

Pour une meilleure prise en charge des problèmes qui touche notre région d'étude d'Ouargla, on suggère :

- ❖ Réalisations des piézomètres dans la nappe phréatique le long de la vallée pour surveiller la fluctuation de leur niveau.
- ❖ Etablir un réseau de surveillance périodique qualitatif et quantitatif de toutes les caractéristiques hydrodynamiques et hydro chimique.
- ❖ Penser à l'adoucissement de l'eau dans les régions à forte salinité.
- ❖ Rénover les réseaux d'assainissement pour supprimer toute source de pollution de la nappe phréatique.
- ❖ L'établissement d'un programme adéquat d'équipement des puits : tubage en P.V.C (Johnson) à fin de lutter contre la corrosion.
- ❖ Optimiser de forer dans le continentale intercalaire et le complexe terminal.
- ❖ Contrôler (par digraphie) les forages albiens anciens ou moins tous les cinq ans

Bibliographie

- ABH. (2006).** Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Sahara septentrional, rapport de mission, Ouargla.5P.
- ADE (2011) :** Algérienne des eaux (Ouargla).Rapport interne de laboratoire des analyses d'eau.
- A. FOUCAULT 2009 .**Climatologie et paléoclimatologie, 138P. DUNOD. ISBN 978-2-10-054165-2.
- ANRH (2008, 2010)** Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Ouargla Inventaire des forages. Rapport interne.
- BELLAOUER. A (2008).** Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région d'Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives. Mémoire Magister, Université de Batna.
- BESBES M., et ALL(2003) :** Système Aquifère du Sahara septentrional. Gestion commune d'un bassin transfrontière. Eau et environnement ; la houille blanche/N°5-2003
- 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 d'état Université De Constantine
- Cornet A. (1964) :** Introduction à l'hydrogéologie saharienne, Rev. de géogr. Phys. et de géol. Dyn. 2, Vol. VI, Fasc. 1, 5-72.
- CRNA (1991) :** Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport interne.
- DJIDEL.M. (2009).** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat, UniversitéBadji Mokhtar, Annaba.
- DUBIEFJ (1959-1963).** Le climat du Sahara. Institut des recherches sahariennes. Mémoire hors série, tome 1 et 2.- ALGER.
- ENAGEO (1993).**Etude géophysique et hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla. Rapport final 1993.
- ERESS. (1972).**Etude des ressources en eau du Sahara septentrional.Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris.
- Fontes J. CH. (1976).**Isotopes du milieu et cycle des eaux naturelles. Quelques aspects. Thèse de Docteur ès Sciences. Université de Paris VI. Paris.
- 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.
- KILIAN. C. (1931).**Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris .
- HADJ-ABDERRAHMANE(1998).** Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla. Rapport interne ANRH, Ouargla.
- HOUARIM., et S (2009).**Reconnaissance géologique des formations aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (Région de Ouargla) mémoire d'ingénieur, Université de Ouargla.
- MOULLA A. (2005).**Colloque international "Les Ressources en Eau Souterraine au Sahara" ABH, OUARGLA.
- NEZLI. IE. (2009).** Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla) thèse doctorat Université d' Ouargla,
- OULD BABA SY.M.(2005).**Recharge et Paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse Doctorat en Géologie. Faculté des Sciences de Tunis. Tunisie.
- OULED BELKHIR. C. (2002).**Contribution à l'étude et l'établissement du bilanhydrologique de la cuvette d'Ouargla (Sahara Nord-est septentrional). Mémoire de Magistère, Université de BLIDA.
- ONM (2011).**Bulletin climatologie des stations sahariennes (1997-2009).

OSS (2003).Système Aquifère du Sahara Septentrional, gestion commune d'un bassin transfrontière,
Edition Observatoire du Sahara et du Sahel.

SAIGHI. Omar (1999).Hydrogéologie en zones arides ; Hydrochimie des eaux naturelles de
l'AHAGGAR et modélisation de nappe d'INFEROFLUX. Thèse Doctorat, Université USTBH
257P.

Sites internet:

-www.crna.dz

-http://www.google.dz/search?um=1&hl=ar&biw=978&bih=530&tbm=isch&sa=1&q=cycle+de+carbone+14&oq=cycle+de+carbone+14&gs_l=img.12...193450.193990.0.196465.3.3.0.0.0.0.0.0..0.0...0.0...1c.1.KwUvyCbZkl/

-<http://www4.paca.inra.fr/emmah/Les-moyens/Laboratoire-d-analyses-et-d-essai/Isotopes-radioactifs-et-stables>, Rédaction : M. Babic, D. Michel, N. Bertrand, M. Weiss, Mise à jour : 25 Janvier
2011

Résumé : Le climat du Sahara algérien se caractérise par une intense sécheresse avec un taux d'humidité très faible. La température moyenne, des mois les plus chauds (Juillet et Aout) dépassent les 34°C et celle du mois le plus froid (Janvier) est inférieur à 12°, avec des étés chauds et des hivers rigoureux. Les températures extrêmes sont de plus de 50°C en été.

Dans la région à étudié, il existe deux systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base du Crétacé supérieur : continental intercalaire (CI), complexe terminal (CT), Au-dessus, existe un aquifère superficiel à nappe libre, dite nappe phréatique. Cette dernière représente un dépôt alluvial de la région d'étude, c'est le siège des infrastructures de la ville d'Ouargla, montrant plusieurs risques.

Mots clefs : Sahara, sécheresse, aquifère, continental intercalaire, complexe terminal, nappe phréatique, Ouargla. .

ملخص : ويتميز المناخ في الصحراء الجزائرية بالجفاف الشديد والرطوبة المنخفضة جدا. متوسط درجة الحرارة للأشهر الأكثر حرارة (جويلية و أوت) أكثر من 34 درجة مئوية، مع صيف حار وشتاء بارد. درجة الحرارة القصوى ما يزيد على 50 درجة مئوية في فصل الصيف.

في منطقة الدراسة ، وهناك طبقتان من المياه الجوفية مفصولة عن بعضها البعض بطبقة من الطين السميك وسلسلة من الطبقات الملحية كريتاسي : القاري المحشور (CI) ، القاري المتناوب (CT) أعلاه ، هناك طبقة المياه الجوفية غير المحصورة . وهذه الأخيرة تمثل الترسبات الغرينية من منطقة الدراسة ، التي تمثل موقع البنية التحتية لمدينة ورقلة ، والتي تظهر بها مخاطر عدة.

الكلمات الدالة : الصحراء ، الجفاف، الخزان المائي، كونتنتال انتركالير، كومبالكس النهائي، ورقلة.

Summary : The climate of the Algerian Sahara is characterized by a severe drought with very low humidity. The average temperature of the two hot month (July and august) than 34 °C, with hot summers and cold winters. Extreme temperatures are above 50°C in summer.

In the study area, there are two aquifers separated by thick clay and evaporite series, the base of the Cretaceous: Continental intermediate (CI), Terminal Complex (TC), above, there is a superficial unconfined aquifer. This represents an alluvial deposit of WadiM'ya, it places the infrastructure of the city of Ouargla, showing several risks.

Key words: Sahara, cohesion, Insoluble, salinity, compaction.

