

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :

Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département de Sciences et Techniques

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
LICENCE ACADEMIQUE
en Hydraulique
Spécialité : Sciences Hydrauliques**

Thème

Contribution à la caractérisations de la chimie des eaux de la nappe phréatique de l'Oued Souf

Préparé par :

HAMEDI Thamir
BOUTAGHANE Slimane
KADACHE Khoudja
AINOUS Sabir

Dirigé par :

CHEBBAH Mohamed

Année universitaire : 2013/2014

Table des Matières

Introduction Générale	1
PREMIÈRE PARTIE : Cadre Naturel de la Nappe Phréatique de L'Oued Souf	3
Introduction	3
I. Cadre géographique et climatique	4
1.1. Localisation géographique	4
1.2. Relief.....	5
1.3. Climatologie.....	6
- Temperature.....	6
- Pluviométrie.....	8
1.4. Conclusion.....	11
II. Cadre géologique	13
2.1 Lithostratigraphe de la région	14
2.2 Tectonique.....	15
2.3 Conclusion.....	16
III. Cadre hydrogéologique	17
3.1 Les aquifères du Bas Sahara Nord-oriental.....	17
- L'aquifère du Continental Intercalaire.....	17
- L'aquifère du Complexe Terminal.....	18
3.2 La nappe phréatique.....	19
3.3 Conclusion.....	19
DEUXIEME PARTIE : Analyse Hydro-Géo-Chimique des Eaux de la Nappe Phréatique	21
Introduction	21
I. Caractéristiques physico-chimiques des eaux	22
II. Corrélations cations –anions	27
- Le digramme (Na-Cl)	28
- Le digramme (Ca-SO ₄)	28
- Le digramme (Ca-HCO ₃)	29
- Le digramme ((Ca+Mg)- (SO ₄ +HCO ₃))	30
III. Répartition spatiale des eaux dans le secteur d'étude	30
- Carte de répartition de (Résidu sec)	30
- Carte de répartition de (Conductivité)	31
IV. Classification des eaux	32
- Diagramme de Piper.....	33
V. Relation faciès chimique des eaux –cadre litho-structural de l'aquifère	34
Conclusion.....	34
CONCLUSION GENERALE	35
BIBLIOGRAPHIE	36

Introduction Générale

Dans la région de l'Oued Souf, les eaux souterraines constituent l'unique ressource hydrique exploitée dans la région, que ce soit pour l'alimentation en eau potable des habitants ou pour l'irrigation des cultures.

Dans cette région les aquifères ou nappes souterraines les plus sollicités sont celles du Complexe Terminal, surtout, la nappe phréatique.

La charge chimique des eaux de cette nappe est souvent élevée (chargées à fortement chargées), ce qui constitue une inquiétude pour les populations en l'absence de moyens de traitement et/ou adoucissement de ces eaux dans la plupart des agglomérations.

Cependant, pour mettre ces eaux au service de la population de cette région, les travaux exigés sont toujours pénibles, longs et coûteux ce qui entraîne de fréquent déséquilibre entre les ressources utilisables et les besoins indispensables. Aussi, dans cette région comme dans beaucoup d'autres, l'implantation des forages se fait d'une manière confuse et aléatoire. Malgré la disponibilité des réserves, le choix du débit prime encore sur celui de la qualité et autant de variétés d'eau sont distribuées dans les différents agglomérations cette région

Devant l'agression quotidienne de ces eaux dans un contexte économique difficile, la recherche de solutions mêmes partielles ou provisoires apparaît plus qu'imposées ; toutefois, la connaissance du chimisme de ces eaux et de ses facteurs déterminants constitue le point clé à toute solution du problème.

L'objectif de notre étude est la caractérisation hydro-géochimique des eaux de la nappe phréatique dans leur contexte naturel celui de la vallée de l'Oued Souf et ceci dans le but de voir les filiations ou relations qui peuvent exister entre :

- la chimie des eaux et leur contexte pétro-structural
- la répartition spatiale des ions et par conséquent des faciès de ces eaux et la géométrie de l'aquifère.

Cependant, comme la qualité chimique de ces eaux n'est en réalité que le résultat final d'un ensemble de processus naturels qui s'opèrent successivement de la source à la zone de stockage. L'étude de ces processus dans leur contexte naturel (caractéristique chimiques, relation chimisme - contexte structural, répartition spatiale - délimitations des zones de chimie différente - des faciès de ces eaux) permette, donc, de déterminer les facteurs influençant ou contrôlant le chimisme de ces eaux ainsi que leur répartition dans la zone d'étude. Ceci peut

aider quant au choix des zones de captage et principalement l'implantation des forages, surtout, destinés à l'A E P.

A fin de pouvoir aborder le sujet et modestement contribuer à la solution du problème posé, nous étudierons la nappe phréatique dans la région de l'Oued Souf en utilisant les données brutes des analyses physico-chimiques disponibles au niveau de la D.H.W d'El Oued.

Notre travail comporte deux parties essentielles :

- La première partie sera consacrée à une synthèse bibliographique avec une description régionale du cadre naturel de la région (géographie, climat, géologie et hydrogéologie) d'une part et la caractérisation du cadre local de la nappe phréatique ou du Quaternaire celui de la vallée du Souf de l'autre part.
- La deuxième partie se consacrera à l'étude hydro-géo-chimique détaillée des eaux de la nappe phréatique (traitement qualitatif et quantitatif - caractérisation et répartition des eaux et leur relation avec le cadre pétro-structural régional et local de l'aquifère - ,, ,).

Nous concluons, par une mise en relief des principaux résultats de cette étude et les recommandations qui se dégagent.

PREMIÈRE PARTIE

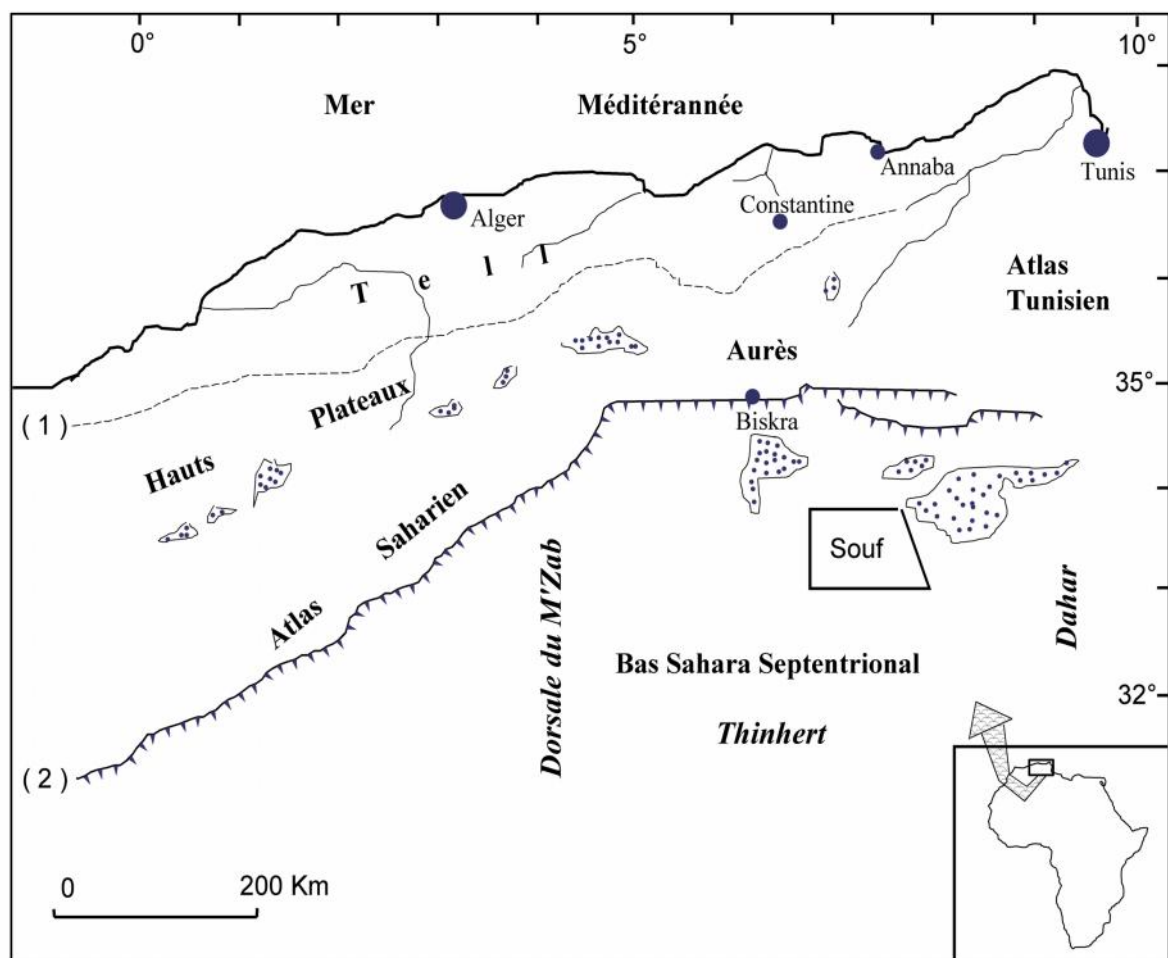
Cadre Naturel de la Nappe des Sables

Le but de cette première partie consiste en une présentation d'ensemble du cadre naturel de la nappe des phréatique dans la vallée du Souf. Nous donnerons un aperçu général sur cette zone dans son contexte régional : celui du Bas Sahara septentrional. Nous commencerons par une présentation du cadre géomorphologique et climatique de la région ensuite nous aborderons l'étude du contexte géologique (régional et local) et nous terminons cette partie par une étude hydrogéologie de la région. Ce qui nous permettra de mieux préciser le cadre litho-structural de l'aquifère étudié (nappe phréatique) dans son contexte naturel global. Ceci nous aidera, dans l'étude hydrochimique, de mieux comprendre ou d'expliquer, la nature et la répartition des faciès des eaux de cet aquifère dans la vallée de l'Oued Souf.

Ch. I. Cadre Géographique et Climatique

I.1 Localisation géographique

La vallée de l'Oued Souf fait partie du Bas Sahara septentrional Algérien et constitue la partie la plus septentrionale du grand Erg oriental. Elle est limitée à l'Ouest par la dorsale du M'Zab, à l'Est par les affleurements crétacés du Dahar en Tunisie et au Sud par la falaise méridionale de Tinrhert et Au Nord par les grands Chotts (Merouane et melrhir).




- (1) Limite sud du domaine telleen (alpin)
- (2) Accident sud atlasique (ou nord saharien)
-  Chotts ou sebkhas

Fig.1. Ensembles géomorphologiques du Nord de l'Algérie. En encadré La région du Souf.

Elle couvre une superficie totale d'environ 80 000 km² et représente 18 communes administrativement et englobe un nombre de population de plus de 500 milles habitants. Elle

est limitée par les coordonnées Lambert suivantes : • X = 275 200/322 000 • Y = 3665 000 /3743 000.

Quand à La wilaya d'El oued, elle est limitée :

- au Nord par la wilaya de Khenchela,
- au Nord-est par la wilaya de Tébessa,
- au Nord-ouest par la wilaya de Biskra,
- à l'Ouest par la wilaya de Djelfa,
- au Sud et à l'Ouest par la wilaya d'Ouargla,
- à l'Est par la Tunisie.

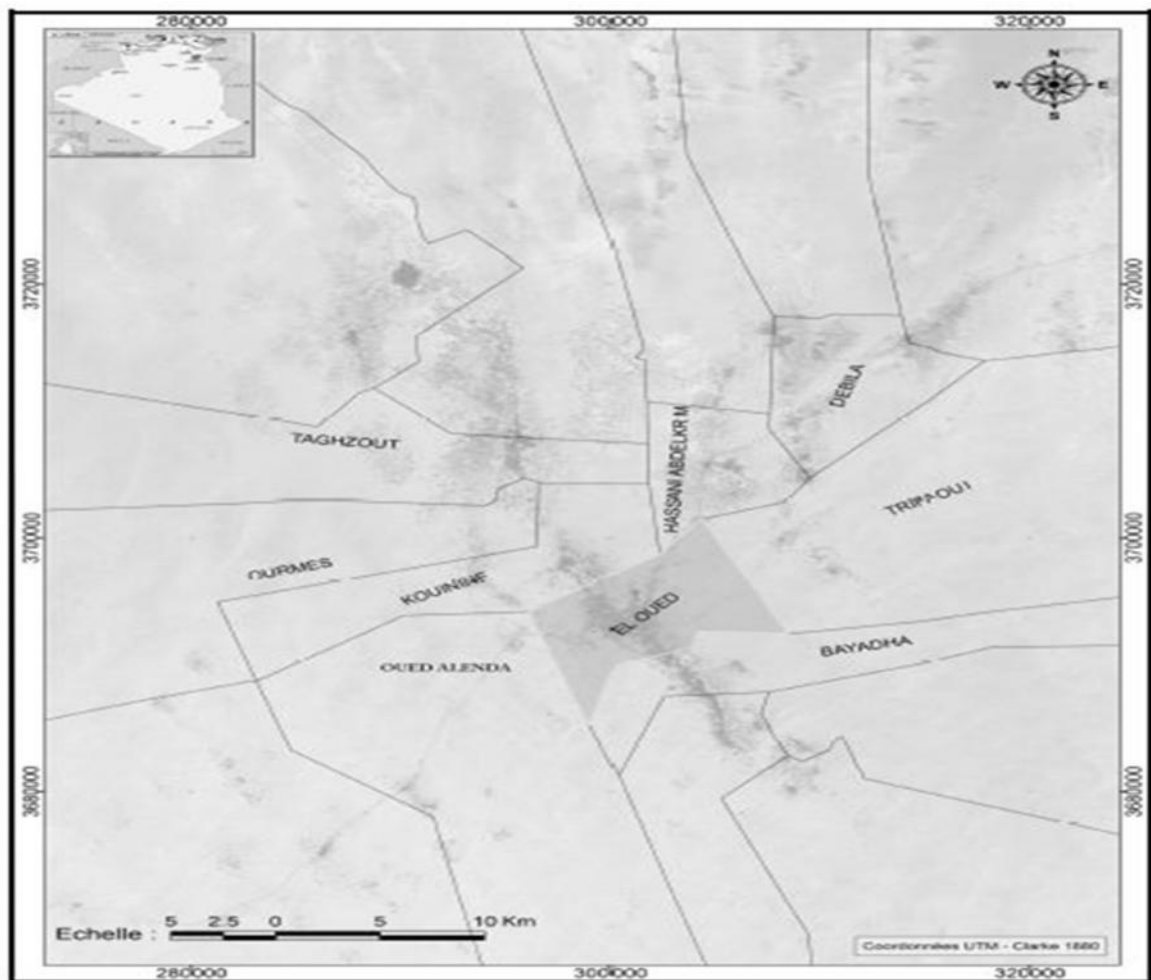


Fig.2. Localisation de la zone d'étude.

I.2 RELIEF :

Le relief de la Vallée d'El Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- Une région sableuse : qui se présente sous un double aspect ; l'Erg et le Sahara.
- Une forme de plateaux rocheux : qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.

- Une zone de dépression : caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est.

Il est à signaler que l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts.

I.3 Climatologie:

I.3.1. Temperature:

L'étude hydrogéologique de la zone d'étude devrait comporter l'analyse du caractère thermique, car l'étude de l'évolution de la température est d'une grande importance dans l'estimation de l'évaporation et de l'évapotranspiration.

Ce paramètre rend compte également de son apport d'énergie à la végétation, au pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et, enfin, il est à l'origine du fonctionnement du cycle de l'eau.

Le Souf est caractérisé par des étés brûlants qui sont aussi durs que ceux qui s'observent dans le Sahara central.

La température moyenne mensuelle interannuelle

La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier de (11.30 °C) alors que la période chaude commence à partir du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois de août (33.91 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 22.47°C.

Le tableau 1 récapitule les températures moyennes mensuelles interannuelles, qui ont été reportées également dans la figure 3.

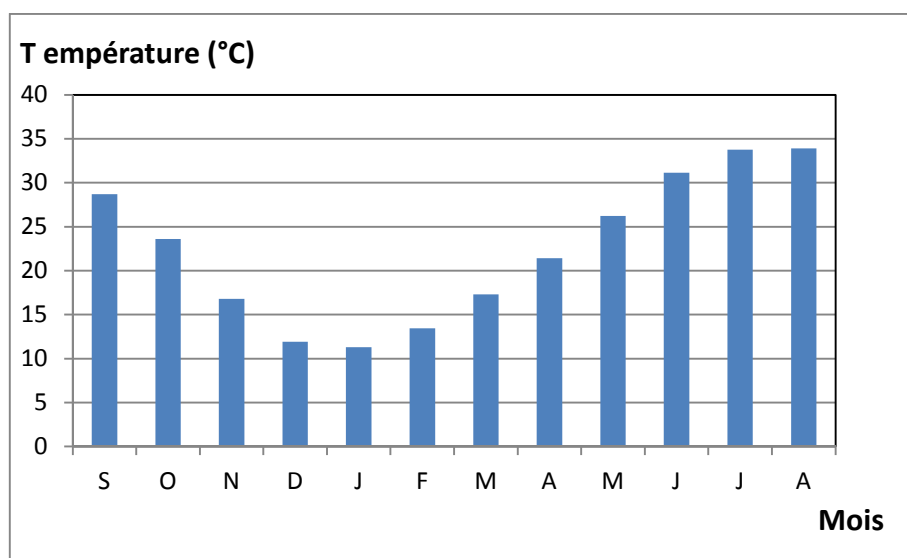


Fig.3. Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guemar.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
Pmoy mm	7	7	9	8	16	3	7	7	6	2	0	2	74

Tableau 1. Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guemar.

Les températures moyennes annuelles

Le tableau 2 et la figure 4 présentent la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 22 ans (1985 à 2007). On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre. L'année la plus chaude est 2006/2007 avec une température moyenne égale 26.67°C et l'année la plus froide est l'année 1991/1992 avec une moyenne de température égale à 21.02°C (Tableau.3).

années	T(c)	années	T(c)
1985/1986	21.80	1996/1997	22.18
1986/1987	21.89	1997/1998	22.23
1987/1988	22.71	1998/1999	22.60
1988/1989	21.73	1999/2000	22.50
1989/1990	22.43	2000/2001	22.42
1990/1991	21.77	2001/2002	22.98
1991/1992	21.02	2002/2003	22.65
1992/1993	22.13	2003/2004	22.42
1993/1994	22.67	2004/2005	22.54
1994/1995	22.30	2005/2006	22.67
1995/1996	21.98	2006/2007	26.67

Tableau 2. moyenne annuelle des températures de l'air à la station de Guemar – 1985-2007

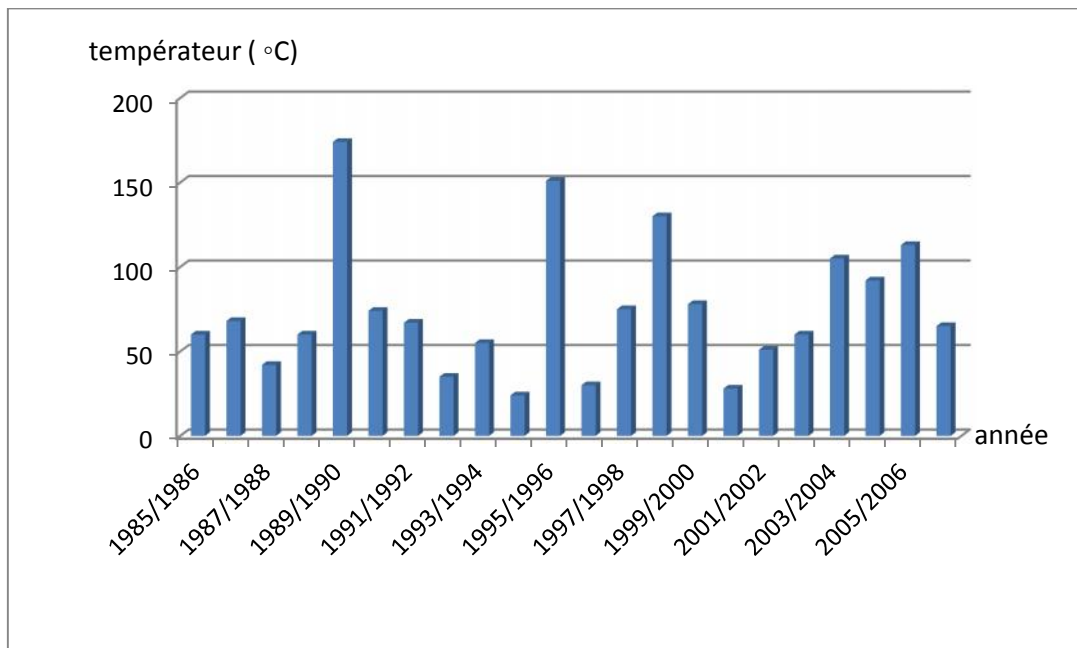


Fig.4. Variation de la température annuelle à la station de Guemar (1985-2006)

Paramètres station	Température Moyenne mensuelle interannuelle (C)		Température Moyenne Annuelle (C)			Année la plus froide	Année la plus chaude	Mois la plus froid	Mois la plus chaud
	min	max	min	moy	max				
Guemar	11.30	33.9 1	21.02	22.47	26.67	1991/199 2	2006/200 7	janvier	août

Tableau 3. Récapitulation des données de la température a la station de Guemar.

I.3.2. Pluviométrie:

L'étude de la pluviométrie présente un intérêt considérable dans l'hydroclimatologie qui permet de faire une description des régimes pluviométriques d'une part et d'analyser l'écoulement d'autre part. La lame d'eau globale tombée, a une influence sur la variation des niveaux d'eau souterraine à traves la zone d'étude.

Répartition moyennes mensuelles des pluies

Le tableau 4 et la figure 5 récapitule la répartition des moyennes mensuelles des relevés pluviométriques à la station de Guemar sur la période de 22 ans.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
Pmoy mm	7	7	9	8	16	3	7	7	6	2	0	2	74

Tableau.4. Répartition des précipitations moyennes mensuelles - la station de Guemar.

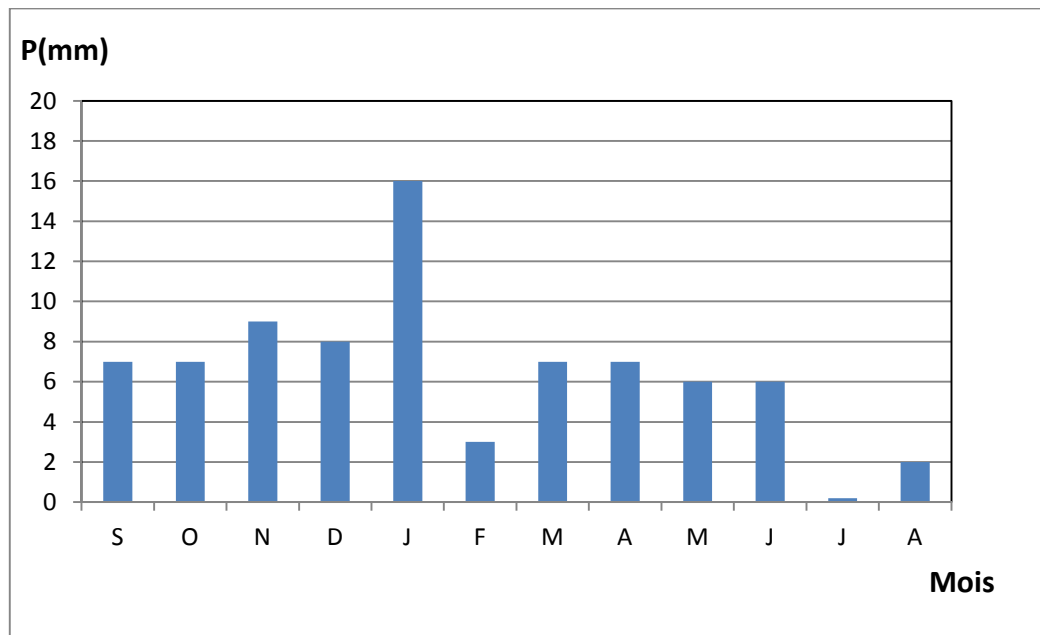


Fig.5. Répartition des précipitations moyennes mensuelles annuelles à la station de Guemar.

Nous observons que tout au long de ces 22 ans, une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles avec un maximum de l'ordre de 16 mm enregistré pendant le mois de janvier, un minimum de l'ordre de 00 mm enregistré pendant le mois de juillet, et une précipitation moyenne annuelle de 74 mm.

Répartition moyennes annuelles des pluies

Sur un cycle de vingt deux ans (1985/1986 – 2006/2007), les précipitations observées à la station de Guemar, montrent une grande variabilité d'une année à une autre. Ainsi, l'année la plus arrosée est celle de (1989/1990) avec 174 mm/an et l'année la plus sèche est telle de (1994/1995) avec 20mm/an.

Les résultats sont regroupés dans le tableau 5 et la figure 6.

années	P(mm)	années	P(mm)
1985/1986	60	1996/1997	30
1986/1987	68	1997/1998	75
1987/1988	42	1998/1999	130
1988/1989	60	1999/2000	78
1989/1990	174	2000/2001	28
1990/1991	74	2001/2002	51
1991/1992	67	2002/2003	60
1992/1993	35	2003/2004	105
1993/1994	55	2004/2005	92
1994/1995	24	2005/2006	113
1995/1996	151	2006/2007	65

Tableau 5. Les précipitations moyennes annuelles a la station de Guemar entre 1985-2007.

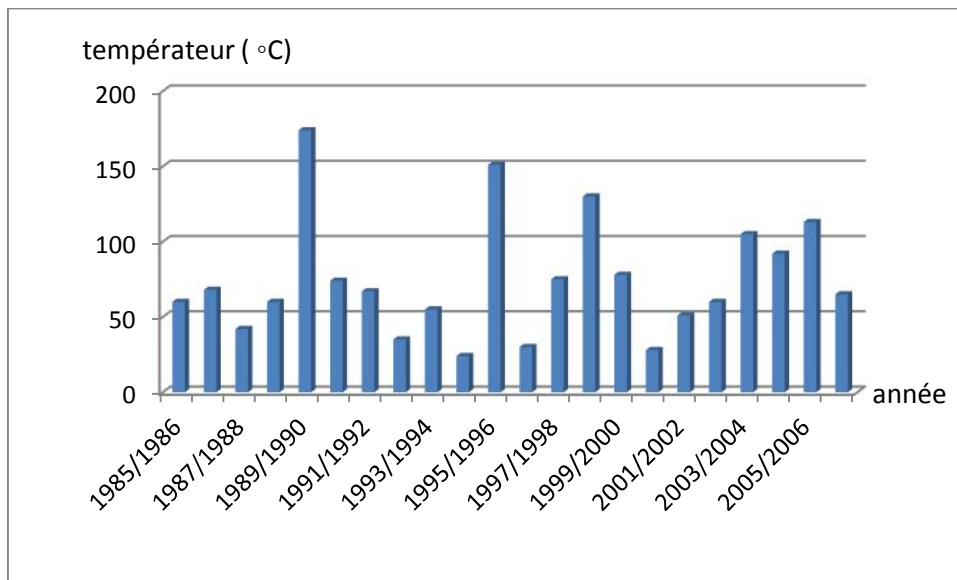


Fig.6. Précipitation moyennes annuelles a la station de Guemar 1985-2006.

L'analyse des données pluviométriques enregistrées à la station météorologique de l'aéroport de Guemar sur la période allant de 1985 jusqu'au 2007 permet de dire que :

- La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 74 mm et elle est très variable à l'échelle annuelle (l'écart type est de 39.93 mm);
- Le mois de janvier est le mois le plus arrosé avec une moyenne de 16 mm.
- Le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec une moyenne de 0 mm.

L'origine des précipitations dans les régions sahariennes est différente selon les saisons.

Durant l'été elles sont dues aux dépressions de mousson, en hiver elles sont dues aux dépressions accompagnant la migration vers le Sud des fronts polaires. Pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions soudano sahariennes traversant le Sahara du Sud vers le Nord. (Dubief, 1959 et 1963).

Diagramme pluviothermique

Le but du diagramme est de déterminer la période sèche et la période humide.

L'examen de ce diagramme (Fig 7), montre que la région d'étude est caractérisée par une période sèche durant toute l'année et donc par l'absence totale de la période humide, même pour le mois de janvier caractérisé par la précipitation la plus élevée (16 mm) et la température la plus basse (11.3 °C)

La détermination de cette période a une importance primordiale pour les besoins en eau d'irrigation.

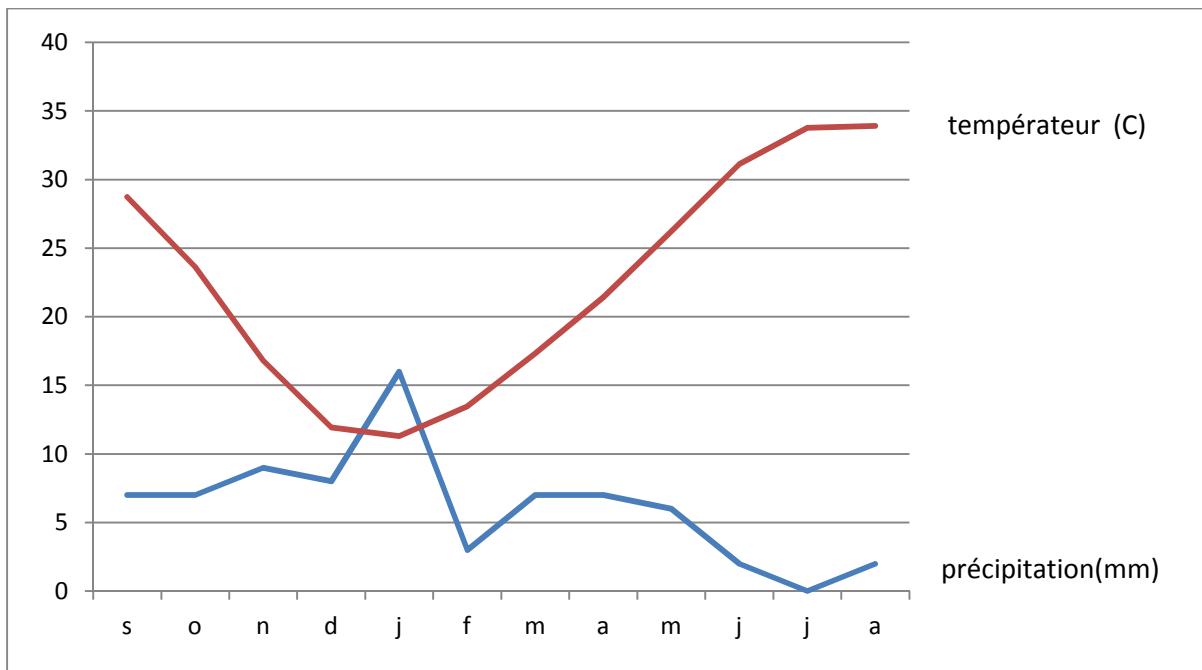


Fig.7. Diagramme pluviométrique de la station de Guemar.

CONCLUSION

Le climat de la ville de Oued-Souf est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Cette aridité n'est pas seulement due à la rareté de la pluie, mais aussi à la forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région.

La synthèse des données climatiques nous permet de dire que la région est caractérisée par un climat hyper-aride, caractérisé par une irrégularité pluviométrique annuelle et interannuelle. Ce climat est caractérisé par l'existence de deux périodes différentes :

L'une sèche et chaude, qui s'étale de mars à novembre et l'autre humide et froide pendant le reste de l'année.

Le mois le plus humide est décembre, il est caractérisé par une forte humidité (environ 68%) et d'un faible rayonnement solaire (environ 218.9 heures). Le mois le plus sec est juillet, il est caractérisé par une faible humidité (32 % environ). La brillance du soleil est très élevée avec 352,9 heures, ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

L'établissement du bilan hydrique et l'estimation de ses paramètres nous permettent de ressortir les résultats suivants:

Le bilan est déficitaire; l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle ne représente que 4 mm pendant le mois de janvier.

La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 74 mm qui est complètement reprise par l'évapotranspiration.

Ch.II. Cadre Géologique

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet la détermination des horizons susceptibles d'être aquifères. Le sous-sol de la région étant sableux et assurant l'infiltration et la circulation souterraines des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo-gréseuses du continental intercalaire, et des accumulations sableuses fluvio-lacustres du tertiaire continental.

Sur l'ensemble de la région d'El-Oued, les formations miopliocènes sont recouvertes par une considérable épaisseur de dépôts quaternaires représentés sous forme de dunes donnant naissance à un immense erg qui lui-même fait partie de l'extension du grand erg oriental.

(Fig 8)

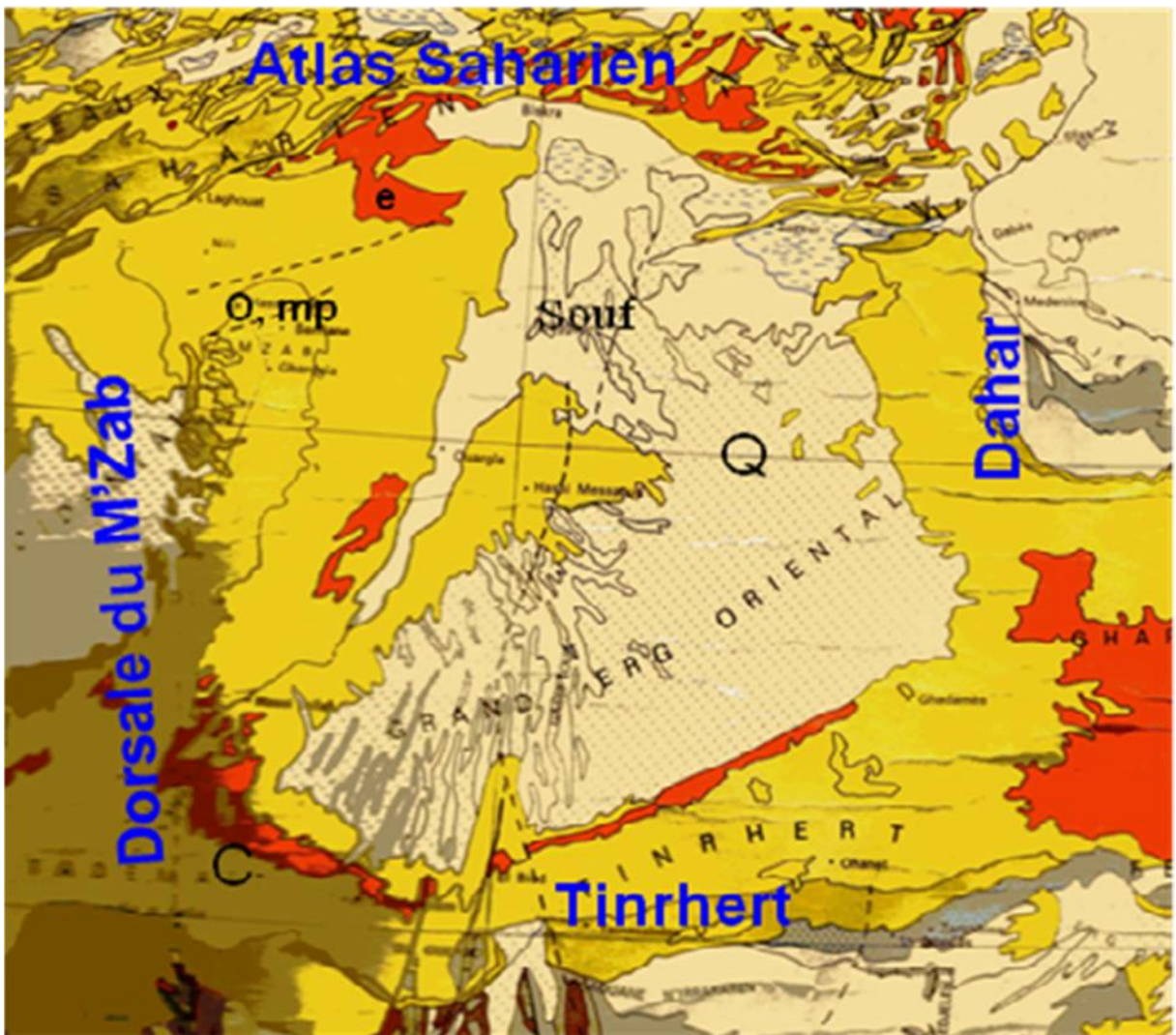


Fig. 8. Extrait de la carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique.

Q : Quaternaire, O : Oligocène, mp : Mio-pliocène, e : Eocène, C : crétacé.

II.1. Géologie régionale

La région du Souf forme une cuvette bordée à l'Ouest par la dorsale du M'Zab, à l'Est par les affleurements crétacés du Dahar en Tunisie et au Sud par la falaise méridionale de Tinrhert. Sur ces trois côtés, des calcaires sénoniens et éocènes sont régulièrement inclinés vers l'intérieur de la cuvette avec des pendages très faibles. Par contre au Nord, elle se trouve brutalement limitée par l'accident sud-atlasique qui redresse presque à la verticale l'ensemble des terrains anté-quaternaires. Il s'agit d'une cuvette dissymétrique dont l'ombilic se situe au Nord de chott Melrhir entre El-Feid et Ain-Naga.

Cette vaste cuvette, présentant une structure synclinale de premier ordre, est remplie d'épaisses formations sédimentaires essentiellement détritiques, carbonatées ou évaporitiques, souvent discordantes et reposant sur un socle pré-cambrien plissé. La majeure partie de ces formations est recouverte de dunes sableuses et caillouteuses formant ainsi ce qu'on appelle le «Grand Erg Oriental ».

Cet erg, d'un relief très tourmenté, repose sur une formation quaternaire de plusieurs dizaines de mètres de sable éolien fin, compact et homogène. Cette formation, qui renferme la nappe phréatique, voit son substratum s'abaisser vers le nord, ses eaux, avec celles des ruissellements superficiels, se répandent, alors dans les sebkhas où elles s'évaporent en déposant des sels en croûtes superficielles.

Sur les confins septentrionaux de ce grand erg s'étale, sur environ 80.000 Km², le territoire du Souf. Il forme une unité indépendante qui constitue une des zones de transition entre la plate forme saharienne et le sillon pré-saharien. Il se caractérise par des dunes très étendues à relief contrasté et par sa cuvette locale presque fermée.

II.2. Litho-stratigraphie du Souf

Le dispositif litho-stratigraphique de la région du Souf, qui reste valable pour le reste du Bas Sahara, se résume dans ce qui suit: du Crétacé à l'Eocène, on trouve successivement, des argiles marneuses, des calcaires, des argiles marno-gypsifères, des calcaires et au sommet des marnes à faciès lagunaire (à gypse, anhydride, sels et passages dolomitiques). Cet ensemble est surmonté d'un néogène continental (Tertiaire) avec des conglomérats et cailloutis oligocènes, des argiles sableuses rouges subhorizontales à lentilles sablo-gréseuses et gypsifères mio-pliocènes. Le tout est surmonté d'une couche de sables fins à encroûtements calcaires plio-quaternaire (figure n° 9). Ces sables, formant l'aquifère phréatique, sont constitués de 90% de grains de quartz, de concrétions calcaires, de gypse avec comme accessoires silicatés.

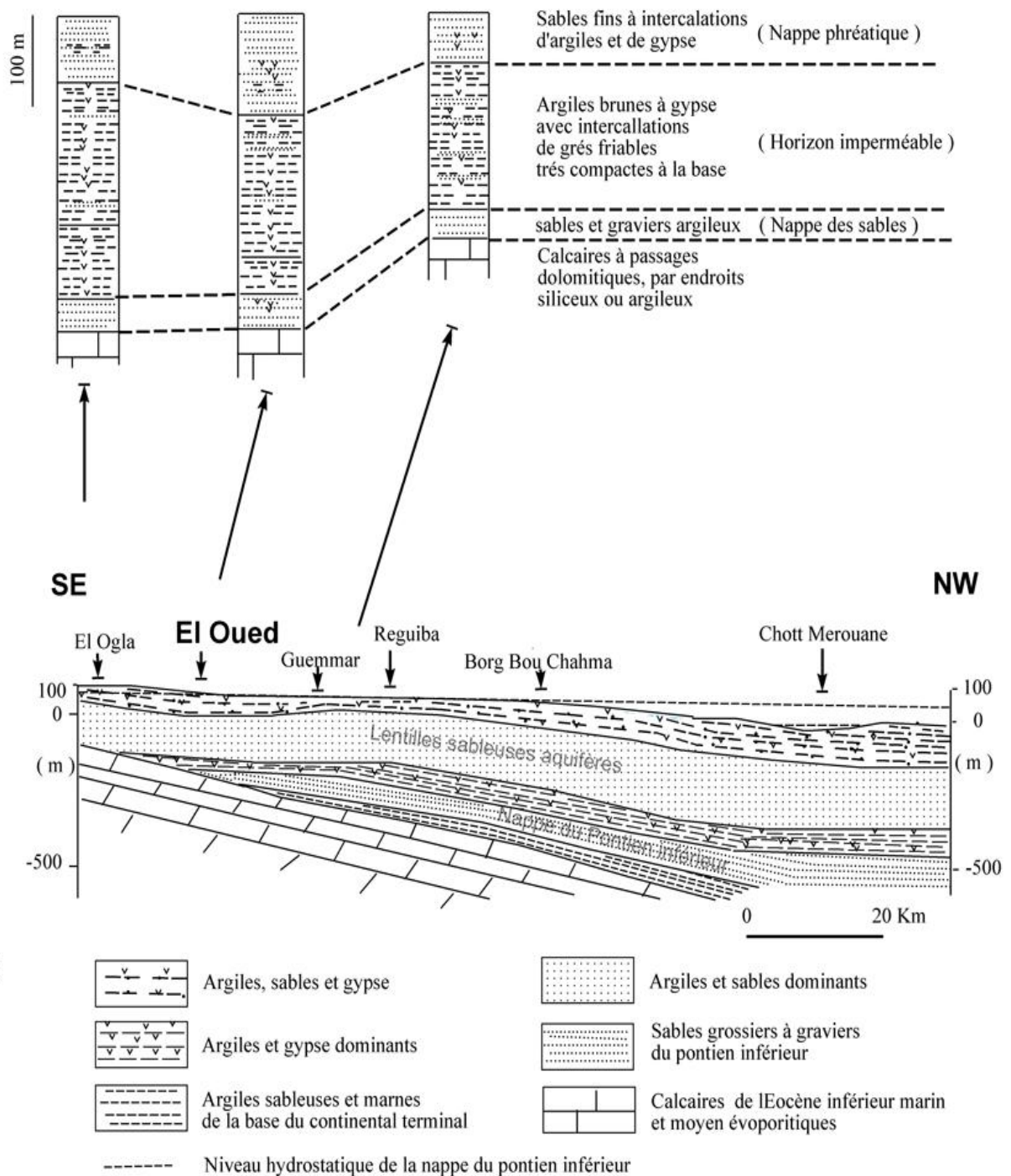


Fig. 9. Logs et coupe géologique dans la région du Souf .

II.3. TECTONIQUE :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional qui constitue une importante dépression topographique formant ainsi une cuvette synclinale dissymétrique dont le fond a un très grand rayon de courbure. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

CONCLUSION :

A partir de cette étude, nous constatons que la région à une particularité spécifique de point de vue géologique, ainsi que les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire avec une lithologie variée dans le temps, régulière et homogène dans l'espace.

Ces conditions ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès. La stratigraphie de la région est caractérisé par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'au dépôts de Quaternaire

Les formations du Quaternaire récentes forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées particulièrement dans la partie Nord-Est où il se termine par une croûte gypseuse, son substratum est argileux imperméable parfois très peu sableux à son sommet ou alors gypsifère en totalité.

Ch.III. Cadre hydrogéologique

L'étude hydrogéologique a pour finalité la planification de l'exploitation des ressources en eaux souterraines, ceci après avoir une idée sur le comportement et l'évolution de la surface piézométrique, ainsi sur le comportement hydrodynamique et les conditions aux limites des ces réservoirs. Aussi, la nature des formations aquifères donne une bonne vision sur la nature et les processus minéralisateur des eaux qu'elles contiennent et ou circulent.

III.1. Complexes aquifères du Bas Sahara Nord-oriental :

Dans cette région caractérisée par une aridité marquée et des écoulements superficiels limités, ce sont les eaux souterraines qui font son originalité, car indépendantes des fluctuations climatiques actuelles, exceptées les nappes phréatiques. Elle comporte plusieurs aquifères qui se regroupent en deux grands complexes : -

- Le complexe du Continental Intercalaire (C.I) connue sous le nom de la Nappe Albienne d'une extension qui dépasse de beaucoup la dépression du Bas-Sahara.
- Le Complexe Terminal qui regroupe :
 - La nappe des calcaires sénoniens et éocènes.
 - Les nappes du continental terminal (C.T) connues sous le nom des nappes des sables ou du Mio-pliocène.
 - Les nappes phréatiques du Plio-quaternaire.

III 1.1- L'aquifère du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire est contenue dans des formations post-paléozoïques sablo-gréseuses qui vont du Trias à l'Albien et qui sont représentées par une alternance de couches grés-sableuses et argileuses où les niveaux perméables prédominent.

Exploitée dans le Bas Sahara algérien depuis 1954, elle couvre la totalité du territoire saharien septentrional sur environ 600.000 km² et s'étend :

- Du Nord au Sud depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar.
- D'Ouest en Est depuis la vallée de la Saoura jusqu'au désert Libyen et la Tunisie pré-saharienne.

Son épaisseur moyenne est de 600 m dont presque la moitié est constituée par des grés d'une porosité élevée qui est de l'ordre de 26% (Castany . , 1982).

Le schéma hydraulique de l'aquifère établit par Castany, fait apparaître trois zones de directions d'écoulement différentes :

- Une direction d'écoulement Ouest - Est draine la zone du Nord-Est de la nappe, vers le chott Djerid, où les eaux s'évaporent. Un drainage dans la même direction souterraine se fait vers le golfe de Gabes.
- Une direction Sud-Nord alimente la zone du sous bassin hydrogéologique du bas Sahara au Nord-Est à partir de la zone d'alimentation de Tinhert.
- Une direction liée à la structure géologique d'ensemble de l'aquifère ; car les grands accidents subméridiens et verticaux du Hoggar se prolongent vers le nord dans la couverture, déterminant un compartimentage dans le réservoir. Cependant la continuité lithologique existe et assure une continuité hydraulique dans l'aquifère.

Les zones d'alimentation de la nappe, dans sa partie orientale sont limitées aux zones d'affleurement du réservoir : au Nord, l'Atlas saharien, à l'Est, la région du Dahar en Tunisie.

La minéralisation de l'aquifère est très variable. Elle croît dans des zones d'alimentation vers les exutoires et en profondeur en relation avec les niveaux argileux présents. Dans le bassin oriental elle est maximale au centre du bassin (5 g/l) et diminue vers la périphérie où elle atteint 1.5 à 3 g/l dans le Dahar (Est), le Tinhert (Sud) , Ouargla (Ouest) et Zab el Chergui (Nord).

III 1.2- L'aquifère du Complexe Terminal :

Il se compose de deux ensembles aquifères principaux, d'âge et de lithologie différente, séparés par des formations semi-perméables ou imperméables liées du Cénomaniens. Ce sont :

- Au sommet, le Continental terminal proprement dit, qui couvre la majeure partie du bassin nord-oriental sur une superficie d'environ 350.000 km². Elle est limitée à l'Ouest par la dorsale du M'Zab au Nord par l'accident sud atlasique, à l'Est par le Dahar en Tunisie et au Sud par la falaise méridionale de Tinhert selon une ligne passant au nord de l'axe Ain Salah. Elle est constituée par les sables et grés du Mio-Pliocène, couvrant en discordance, pratiquement la totalité de l'Erg oriental depuis la dorsale du M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar en Tunisie à l'Est.
- A la base, la Nappe des Calcaires qui s'étend sur l'ensemble du bassin. Elle est contenue dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène. Son épaisseur est plus importante dans la région des Zibans (jusqu'à 600 m) et décroît d'une manière significative vers le Sud. Il s'agit d'un aquifère fracturé surtout, en bordure de l'accident sud atlasique.

Par leurs grandes extensions et leurs faibles, ces aquifères sont les plus exploités profondeurs dans la région des Zibans. La nappe des sables est surtout exploitée dans le Zab el Chergui (Fosse Sud Aurésienne : Sidi Okba, Ain Naga, M'ziraa, El Houch, El Feidh,,) par contre, la

nappe des calcaires est exploitée dans le Zab el Gharbi (Tolga, Doucen,,) et la Fosse Aurésienne (Chetma, Sidi Khlil, Droh,,).

Dans ce bassin, l'écoulement se fait principalement, du Sud vers le Nord avec des composantes NW-SE ou N-S dans sa partie septentrionale. Et donc les eaux convergent des zones d'alimentation vers les chotts (Merouane, Melhrir , Djerid,,), ainsi que vers l'exutoire souterrain du golfe de Gabes. La nappe est en charge au Nord et libre dans sa partie sud. L'alimentation se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellement apportées par les oueds qui descendent les reliefs de bordure. Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre du Grand Erg oriental. La porosité dépend de la lithologie. Elle est estimée à 30% dans les sables du Mio-Pliocène et à 20% dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène supérieur (Castany . , 1982).

Les eaux de ce complexe présentent une grande hétérogénéité verticale et horizontale de faciès corrélative à celle des réservoirs en question. D'une manière générale minéralisation augmente du Sud vers le Nord et il est possible d'identifier, selon Castany, deux zones principales:

- Une zone à minéralisation faible ne dépassant pas 2g/l dans les zones d'infiltration (Nord de Ouargla et l'Ouest du M'zab et du Dahar).
- Une zone à minéralisation comprise entre 2 et 5g/l (Tunisie, le Nord du Grand Erg oriental - Zibans, Souf, Oued Rhir - et d'Ouargla).

III.2. Les nappes phréatiques

Les nappes phréatiques peu profondes sont plio-quadernaires, leur substratum s'incline vers les grands chotts, et les écoulements se font en général du sud vers le nord sur la plate-forme et du nord vers le sud dans la partie septentrionale du sillon. Dans la région du Souf, les écoulements se font du SE vers le NW (vers chott Merouane). Notons que dans cette région, la dépression locale, le relief tourmenté du substratum et la présence de seuils imperméables ralentissent et freinent les circulations ce qui fragmente par endroits les eaux de la nappe en unités distinctes ayant chacune leurs caractères propres.

Enfin, des interactions et des percolations entre les différentes nappes sont fréquentes surtout, dans les zones de discontinuités lithologiques et structurales.

Conclusion

Les seules ressources hydriques disponibles la région d'étude sont les nappes souterraines. La nappe phréatique de la vallée du Souf, la plus exploitée, est contenue dans des formations de nature différente principalement sableuses. L'alimentation de cet aquifère superficiel est assurée par l'infiltration des eaux des forages profonds, par les eaux urbaines, par les eaux d'irrigation et par les rares et faibles.

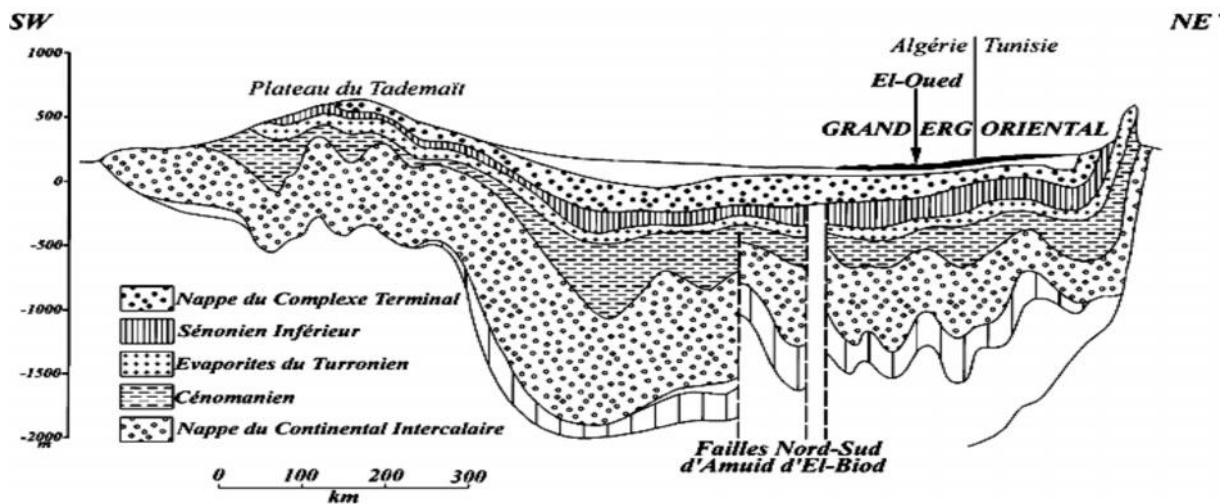


Fig.10. Coupe hydrogéologique du SASS (in Moula, A. S. et al., 2005)

Unités stratigraphiques	Unités géologiques	Unités lithostratigraphiques	Unités Hydrogéologiques	Complexes Aquifères	
Quaternaire	Alluvions, sables, argiles, conglomérats	Continental Terminal	Nappe phréatique	Nappe du complexe terminal S.S	Nappe du complexe terminal S.L
Moi-pliocène	Alternances d'argiles, sables et conglomérats		Nappe des sables		
Eocène moyen	Argiles gypseuses	Eocène argilo-évaporitique	Semi perméable		
Eocène inf	Calcaires et argiles	Eocène carbonaté	Nappe des calcaires		
Sénonien sup Maestrichtien Campanien	Calcaires	Sénonien carbonaté			
Sénonien inf	Argiles, gypses, sels	Sénonien lagunaire	Imperméable		
Turonien	Calcaires dolomitiques et dolomies	Turonien dolomitique	Nappe du Turonien		
Cénomanién	Argiles, marnes, marno-calcaires et gypse	Cénomanién argilo-évaporitique	Imperméable		
Albien	Calcaires Marnes - Grés	Albien carbonaté Albien argilo-gréseux	Nappe du Continental Intercalaire	Nappe du Continental Intercalaire	
Aptien	Grés, dolomies	Aptien gréseux			
Barrémien -Lias	Grés				

Tableau n°6. Unités lithostratigraphiques, géologiques et hydrogéologiques du Bas Sahara Septentrional.

DEUXIEME PARTIE

Analyse Hydro-Géo-Chimique des Eaux de la Nappe Phréatique

L'objet de cette partie consiste en une analyse hydrogéochimique globale des eaux de la nappe phréatique dans la vallée de L'Oued Souf.

Après une présentation et un traitement des données physico-chimiques brutes des eaux de l'ensemble des forages et puits considérés dans notre étude, nous essayons de faire ressortir l'ensemble des principales caractéristiques de ces eaux ainsi que leur répartition spatiale et ceci dans le but de rechercher les principaux paramètres minéralisateurs et d'expliquer la répartition des faciès en relation avec la lithologie et la structure de la région afin de prévoir leur évolution et de proposer des aires d'exploitation plus favorables présentant des eaux moins chargées.

Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Traitement des données :

Les données brutes des analyses physico-chimiques utilisées dans notre étude correspondent aux prélèvements des eaux de puits ou forages dans la nappe phréatique des effectuées par la D H W d'El Oued et qui se répartissent sur l'ensemble de la vallée du Souf.

L'ensemble de ces données a été soumis à un test de validité qui consiste au calcul de la déviation relative entre la somme des cations et la somme des anions et qui s'exprime par :

$$\text{Ecart relatif} = (\text{abs}((r^+ - r^-) / (r^+ + r^-)) * 100).$$

Ce paramètre permet de vérifier la précision des méthodes analytiques utilisées et la validité des déterminations chimiques. S'il est inférieur à 5%, les analyses sont considérées comme bonnes; lorsque sa valeur est comprise entre 5% et 10%, les analyses peuvent être à la rigueur retenues ; Par contre au-delà de 10% les analyses doivent être rejetées. Dans ce dernier cas, deux causes essentielles peuvent être évoquées : soit que les méthodes analytiques sont peu précises, soit qu'un ou plusieurs éléments en solutions n'ont pas été dosés.

Pour les eaux de puits de la nappe phréatique de la vallée du Souf; l'écart relatif varie entre (0.57% et 52.60%), cependant seules les analyses ayant un écart relatif inférieur à 10% ont été retenues dans notre étude pour le traitement hydrogéochimique.

Les données brutes des analyses retenues sont reportées dans tableau N° 7, et leur position géographique sur la figure N° x ;

N° ech	T °	PH	cond	Ca ^m	Mg ^m	Na ^t	K ^t	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃	HCO ₃	Ecart relatif
P1	21,5	7	12000	239	407	2111	36	2390	1498	200	158	17,25
P2	21	7,3	6000	195	642	4603	50	3228	2541	200	283	28,68
P3	21,5	7,2	5820	436	428	1414	39	1863	760	133	153	29,80
P4	21	7,8	3130	278	238	355	20	1571	227	120	63	8,27
P5	22,5	7,5	4000	436	266	234	13	1975	747	95	78	-8,81
P6	22,9	7,3	7540	202	427	1065	38	2058	1496	103	156	2,05
P7	22,8	7,1	3870	216	308	204	11	1602	350	74	201	-2,25
P8	22,1	7	4450	316	277	1424	32	1651	569	34	296	29,09
P9	21,8	7,6	5530	380	307	565	53	1502	867	200	229	5,87
P10	21,7	7,6	3830	328	362	380	21	1616	348	79	86	15,92

P11	23,5	7,5	4400	405	442	855	26	1090	552	38	97	40,23
P12	22,7	7,1	4430	365	387	805	21	1684	695	63	158	19,24
P13	22,4	7,5	3110	392	226	115	18	1460	216	50	81	6,37
P14	22,2	7,3	4670	315	411	1005	20	1972	688	76	162	18,83
P15	21,1	7,5	4350	345	375	355	15	1634	552	75	121	9,85
P16	19,9	7,4	4650	176	457	1764	25	1851	1844	7	293	13,11
P17	22,7	7,3	5370	325	426	1255	20	1676	953	21	157	24,58
P18	29,6	7,7	3740	508	236	430	11	1356	315	37	58	24,70
P19	22,7	7,6	5830	286	327	1207	23	1890	892	83	95	16,80
P20	22	7,7	3340	545	214	255	16	1751	248	56	70	10,84
P21	22,1	7,6	6250	344	432	1255	9	1684	1213	110	116	19,38
P22	22,9	7,8	3100	549	153	255	15	1302	234	58	53	18,52
P23	22,9	7,6	3870	302	233	805	11	1875	393	93	76	13,79
P24	22,5	7,5	3550	247	278	455	11	1570	321	95	91	10,77
P25	22,1	7,6	3590	238	306	144	12	1263	453	84	87	2,46
P26	23,5	7,6	3290	562	128	655	16	1151	375	82	70	29,28
P27	22,1	7,4	3610	278	221	445	25	1407	456	85	103	7,27
P28	20,9	7,2	5000	326	404	2131	20	1787	791	62	369	36,52
P29	24	7,5	/	326	302	818	29	1739	406	98	100	20,90
P30	23	7,6	8500	206	475	3413	32	2252	1940	145	192	30,07
P31	21,6	7,4	8460	221	452	788	33	2844	1785	134	148	-
P32	22,2	7,5	9860	256	495	1394	42	2560	2134	200	152	-1,46
P33	22,8	7,5	6440	259	435	1727	32	2811	1249	179	135	11,73
P34	24	8,1	3690	420	301	430	21	1851	379	86	81	11,40
P35	21	7,5	10580	248	541	3848	57	2702	5726	147	227	0,57
P36	22,6	7,5	5180	223	350	444	26	2162	784	117	145	-8,43
P37	17,5	8,1	5080	501	344	1005	11	1563	829	116	64	24,83
P38	19,4	7,7	5320	325	450	1205	21	1804	1014	118	90	21,09
P39	22	7,6	5370	492	332	1255	21	2133	1001	77	107	17,34
P40	22,8	7,4	6600	266	379	1505	25	2227	1379	143	138	10,53
P41	22,5	7,7	5500	370	435	1305	18	2188	1143	115	100	15,88
P42	22,2	7,7	6050	259	381	2212	18	2297	1197	148	107	24,50
P43	19,6	7,6	8550	187	518	3111	39	2050	2033	138	135	28,77
P44	23,3	7,7	3120	1771	409	114	13	1547	197	53	67	52,60
P45	23,2	7,7	3950	298	324	485	15	1708	382	76	122	12,22
P46	21,8	8,7	/	478	296	144	16	1853	269	75	55	6,71

P47	20,7	7,6	>20000	725	1348	12351	909	5000	8582	69	425	33,39
P48	23,7	7,5	4670	352	314	415	17	1755	780	45	133	0,65
P49	22,8	7,7	7390	248	436	1626	21	2427	1588	1	387	8,26
P50	20,7	8,1	2800	185	382	65	3	1200	169	54	52	16,57
P51	22,1	7,7	4230	510	275	980	21	1645	728	90	83	22,78
P52	22,5	7,6	4540	340	417	2131	25	1526	766	71	128	43,85
P53	22,6	7,9	3040	496	223	157	13	1439	159	49	61	16,47
P54	19,4	8,1	2490	183	346	704	10	1394	126	44	66	33,39
P55	19,1	7	19170	225	814	5869	42	4083	2302	127	606	34,88
P56	20,2	7,5	5110	340	423	1355	18	2012	929	80	152	21,67
P57	22,2	7,8	7250	267	378	2111	32	2722	1379	143	138	15,71
P58	21,6	7,8	4630	274	329	905	25	1366	760	104	70	21,24
P59	22,1	7,7	5630	444	373	765	33	1820	1180	174	86	7,38
P60	24,7	7	6040	320	369	1515	36	2081	1023	200	157	18,57
P61	22,1	7,2	5800	492	338	1191	15	1635	1062	117	175	20,84
P62	21,2	7,4	6940	396	456	1192	32	2277	1490	90	117	8,69
P63	22,7	7,8	4830	278	318	2333	25	1770	755	72	82	40,28
P64	18,4	8,3	5840	212	444	765	42	2130	994	31	183	3,84
P65	21,7	8	3120	518	207	390	17	1263	232	94	75	25,95
P66	22,3	8,4	10600	271	806	3040	120	4110	2235	13	210	17,31
P67	20,8	7,6	5420	335	429	365	14	2183	934	144	145	-5,34
P68	21,6	7,4	13000	191	489	1190	38	2155	1746	182	181	1,49
P69	21,47	7,7	5550	366	474	315	12	1979	1014	103	94	-0,82

TABLEAU N°7: Données brutes des analyses physico-chimiques valides des eaux de puits ou forages de la nappe phréatiques dans la vallée du Souf.

Cond: conductivité électrique[us/cm],

PH: ph mesuré sur le terrain ,

RS: résidu sec [mg/l] ,

TH: dureté totale de l'eau calculée [°F],

Les concentrations des éléments sont exprimées en [mg/l]

Les résultats de ces analyses exprimés en milliéquivalents ainsi que leurs balances ioniques sont portés dans le tableau N° 7.

N°éch	Ca	Mg	Na	K	SO4	CL	HCO3	NO3	(r ⁺)	(r ⁻)
P4	13,9	19,83	15,43	0,51	32,73	6,39	1,03	1,94	49,68	42,09
P5	21,8	22,17	10,17	0,33	41,15	21,04	1,28	1,53	54,47	65,00
P6	10,1	35,58	46,30	0,97	42,88	42,14	2,56	1,66	92,96	89,23
P7	10,8	25,67	8,87	0,28	33,38	9,86	3,30	1,19	45,62	47,72
P9	19	25,58	24,57	1,36	31,29	24,42	3,75	3,23	70,51	62,69
P13	19,6	18,83	5,00	0,46	30,42	6,08	1,33	0,81	43,89	38,64
P15	17,25	31,25	15,43	0,38	34,04	15,55	1,98	1,21	64,32	52,78
P20	27,25	17,83	11,09	0,41	36,48	6,99	1,15	0,90	56,58	45,52
P24	12,35	23,17	19,78	0,28	32,71	9,04	1,49	1,53	55,58	44,77
P25	11,9	25,50	6,26	0,31	26,31	12,76	1,43	1,35	43,97	41,85
P27	13,9	18,42	19,35	0,64	29,31	12,85	1,69	1,37	52,31	45,22
P32	12,8	41,25	60,61	1,08	53,33	60,11	2,49	3,23	115,74	119,16
P33	12,95	36,25	75,09	0,82	58,56	35,18	2,21	2,89	125,11	98,85
P34	21	25,08	18,70	0,54	38,56	10,68	1,33	1,39	65,32	51,95
P35	12,4	45,08	167,30	1,46	56,29	161,30	3,72	2,37	226,25	223,68
P36	11,15	29,17	19,30	0,67	45,04	22,08	2,38	1,89	60,29	71,39
P40	13,3	31,58	65,43	0,64	46,40	38,85	2,26	2,31	110,96	89,81
P46	23,9	24,67	6,26	0,41	38,60	7,58	0,90	1,21	55,24	48,29
P48	17,6	26,17	18,04	0,44	36,56	21,97	2,18	0,73	62,25	61,44
P49	12,4	36,33	70,70	0,54	50,56	44,73	6,34	0,02	119,97	101,66
P59	22,2	31,08	33,26	0,85	37,92	33,24	1,41	2,81	87,39	75,37
P62	19,8	38,00	51,83	0,82	47,44	41,97	1,92	1,45	110,45	92,78
P64	10,6	37,00	33,26	1,08	44,38	28,00	3,00	0,50	81,94	75,88
P67	16,75	35,75	15,87	0,36	45,48	26,31	2,38	2,32	68,73	76,49
P68	9,55	40,75	51,74	0,97	44,90	49,18	2,97	2,94	103,01	99,98
P69	18,3	39,50	13,70	0,31	41,23	28,56	1,54	1,66	71,80	72,99

TABLEAU N°8: Calcul des concentrations en milliéquivalents par litre et vérification de la balance ionique.

Paramètres statiques :

Les paramètres statiques (moyenne, écart type, coefficient de variation et delta) ont été calculés pour chacune des variables physico-chimiques et sont reportés dans le tableau N° 6. A l'exception des Carbonates, des Nitrates et du PH qui montrent des valeurs acceptables, l'ensemble des paramètres mesurés a des valeurs moyennes et extrêmes qui dépassent la limite des normes des potabilité admises.

	pH	Cond	Ca	Mg	Na	K	SO₄	CL	HCO₃	NO₃	TH
M	7.588	5690.73	356.64	390.22	1354.77	37.91	1972.78	1092.38	143.93	96.74	7.588
S	0.32	3264.82	207.38	168.34	1728.18	107.63	681.18	1233.26	97	49.43	0.32
Mini	7	2490	176	128	65	3	1090	126	52	1	7
Maxi	8.7	20000	1771	1348	12351	909	5000	8582	606	200	8.7
Delta	1.7	17510	1595	1220	12286	906	3910	8456	554	199	1.7

Tableau N°9: Paramètres statistiques des caractéristiques des eaux de puits de la nappe

Phréatique. m : moyenne arithmétique, s: écart type, Mini : valeur minimale, Maxi : valeur maximale, Delta : étendue (Maxi –Mini).

Globalement, les eaux de puits de la nappe phréatique ont une minéralisation très élevée ($2361 < R.S < 14780$ mg/l) à PH légèrement basique. La variabilité des éléments en solution exprimée par le coefficient de variation en % (ou par l'écart-type) est très importante pour la majorité des paramètres analysés (cond.: 67.45%, RS: 66.05%, Mg: 65.15%, Na: 138.03%, Cl: 154.76%, HCO₃: 72.26%, NO₃: 49.05%) et montre que ces eaux présentent de grandes différences de qualité chimique d'un point à l'autre. Toute fois, la variabilité spatiale de la température (m: 22.1, cv: 3.66%) et du PH(m:7.6,cv:3.80%) reste faible. Notons enfin que le coefficient de variation le plus élevé, correspondant au Potassium, ne peut être pris en compte car il est essentiellement dû à la forte teneur du puits 18bis (k:909 mg/l) alors que pour l'ensemble des autres puits, la moyenne est de 23.5 mg/l avec un coefficient de variation de 54%, ce qui peut être expliqué par une salinité accentuée d'un puits au centre de la cuvette..

Le calcul des formules ioniques (tableau n°9), où les concentrations relatives des éléments sont exprimés en % par rapport à la somme des concentrations des éléments de même signe, fait ressortir des caractéristiques chimiques très variables. Certaines eaux présentent ainsi, un faciès sulfaté magnésien ou calcique secondairement chloruré sodique alors que d'autres ont un faciès sulfaté sodique secondairement chloruré magnésien ou encore franchement chloruré sodique.

N°éch	Ca	Mg	Na	K	SO4	CL	HCO3	NO3
P4	27,98	39,92	31,07	0,01	77,76	15,19	2,45	4,60
P5	40,02	40,69	18,68	0,01	63,30	32,37	1,97	2,36
P6	10,86	38,28	49,81	0,01	48,05	47,22	2,87	1,86
P7	23,67	56,26	19,44	0,01	69,94	20,66	6,90	2,50
P9	26,95	36,28	34,84	0,02	49,91	38,96	5,99	5,15
P13	44,65	42,91	11,39	0,01	78,73	15,75	3,44	2,09
P15	26,82	48,59	24,00	0,01	64,49	29,46	3,76	2,29
P20	48,16	31,52	19,59	0,01	80,15	15,35	2,52	1,98
P24	22,22	41,68	35,59	0,01	73,05	20,20	3,33	3,42
P25	27,06	58,00	14,24	0,01	62,87	30,49	3,41	3,24
P27	26,57	35,21	36,99	0,01	64,83	28,41	3,73	3,03
P32	11,06	35,64	52,37	0,01	44,76	50,45	2,09	2,71
P33	10,35	28,98	60,02	0,01	59,25	35,59	2,24	2,92
P34	32,15	38,40	28,62	0,01	74,22	20,55	2,56	2,67
P35	5,48	19,93	73,95	0,01	25,17	72,11	1,66	1,06
P36	18,49	48,38	32,02	0,01	63,09	30,93	3,33	2,64
P40	11,99	28,46	58,97	0,01	51,66	43,25	2,52	2,57
P46	43,27	44,66	11,33	0,01	79,94	15,69	1,87	2,50
P48	28,27	42,04	28,99	0,01	59,51	35,76	3,55	1,18
P49	10,34	30,29	58,93	0,00	49,74	44,00	6,24	0,02
P59	25,40	35,57	38,06	0,01	50,31	44,10	1,87	3,72
P62	17,93	34,41	46,92	0,01	51,13	45,24	2,07	1,56
P64	12,94	45,16	40,59	0,01	58,48	36,90	3,95	0,66
P67	24,37	52,02	23,09	0,01	59,46	34,40	3,11	3,04
P68	9,27	39,56	50,23	0,01	44,90	49,19	2,97	2,94
P69	25,49	55,01	19,07	0,00	56,48	39,13	2,11	2,28

Tableau N°10 : Calcul de la formule ionique de chaque analyse.

Les concentrations relatives des éléments sont exprimées en (%) par rapport à la somme des concentrations des éléments de même signe.

3. Corrélations cations –anions :

Il est souvent difficile d'établir des relations plus sûres entre les faciès des eaux et les formations tant que l'on ne connaît pas leurs sources ; Comme l'utilisation des diagrammes paramétriques permet de visualiser les relations entre les différents éléments considérés ainsi

que leurs évolutions, ceci peut donc nous aider à déterminer ou à préciser la nature des matériaux sources de la minéralisation.

a. Le digramme (Na-Cl) :

Le digramme (Na-Cl) montre une bonne corrélation entre Na et CL avec une évolution positive entre ces deux éléments, ce qui implique que la minéralisation est principalement due aux sels (dissolution du NaCl).

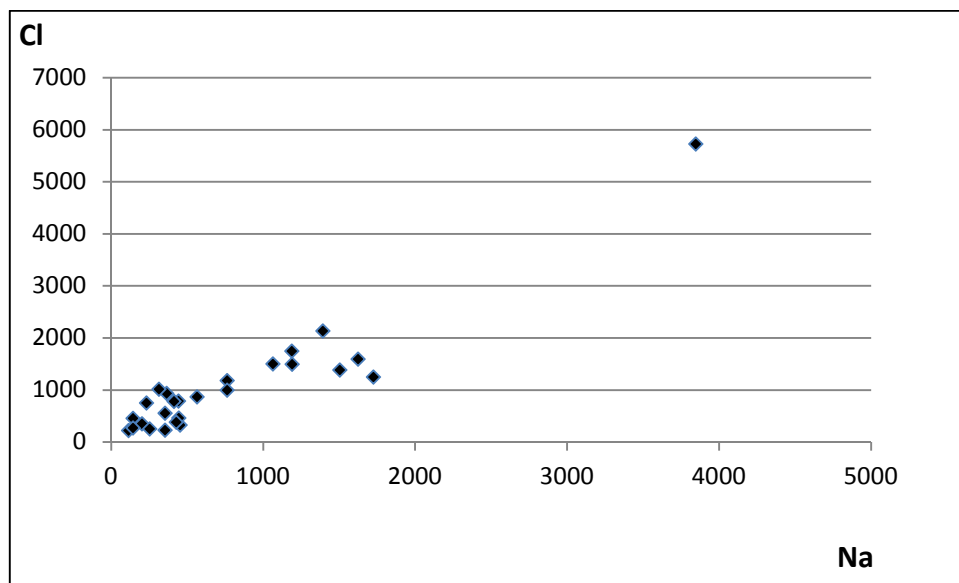


Fig 11 Le digramme (Na-Cl)

b. Le digramme (Ca-SO₄) :

Le diagramme (Ca-SO₄) montre une mauvaise corrélation entre ces deux éléments, ce qui implique la présence d'une autre source de minéralisation en plus de la source sulfatée (gypse).

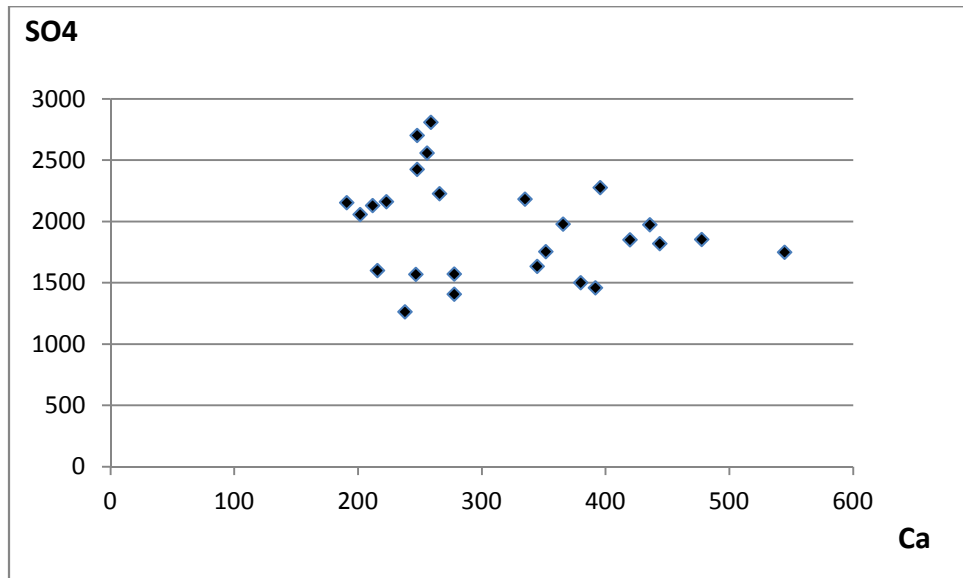


Fig 12 Le diagramme (Ca-SO₄)

c. Le digramme (Ca-HCO₃) :

Le digramme (Ca-HCO₃) qui montre une corrélation quasiment inexistante comme le diagramme précédent, entre les deux éléments avec une évolution négative où (Ca) évolue plus rapidement que le (HCO₃) ceci indique que seule une partie de Ca provient d'une source carbonatée interne ou externe à l'aquifère en question. l'autre partie du Ca vient de la dissolution des sulfates.

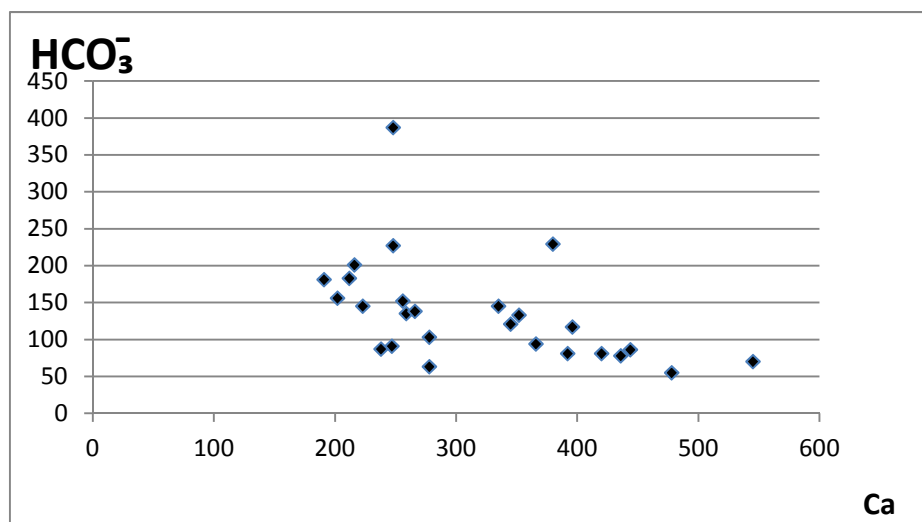


fig 13 Le digramme (Ca-HCO₃)

d. Le digramme ((Ca+Mg)- (SO₄+HCO₃)) :

Le digramme ((Ca+Mg) - (SO₄+HCO₃)) montre une corrélation moyenne avec une évolution positive entre ce groupe d'éléments, ce qui justifie la présence d'au moins deux sources en Ca, une première source sulfatée et une deuxième carbonatée.

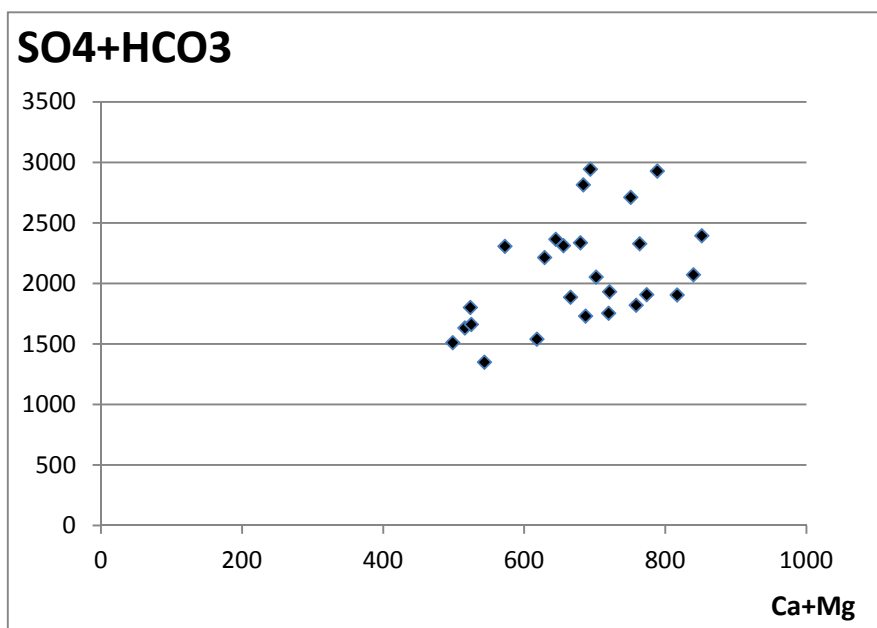


fig 14 Le digramme ((Ca+Mg) - (SO₄+HCO₃))

IV 4. Répartition spatiale des teneurs en ions :

Nous avons dressé les cartes des iso-concentrations des différents éléments physico-chimiques, en utilisant un logiciel informatique de cartographie (surfer). Ce dernier peut tracer tout type de cartes telles que les cartes de localisation ou encore les cartes contours d'égale valeurs (ex : cartes des isoconcentrations).

D'une manière générale l'ensemble des cartes de iso-concentration présentent des variations spatiales importantes avec des maxima de teneur significatifs dans le secteur sud-est et en partie dans le secteur ouest de la région et traduisent une zonalité hydrochimique nette.

IV 4.1. Carte de répartition de (R.S) :

Les concentrations du résidu sec dans la fosse sud auresienne (fig.) qui varient entre une valeur minimale de (868 mg/l) et une valeur maximal de (7022 mg/l), montrent un accroissement des concentrations du NW (Sidi Okba) vers le SW (El Haouch) ou du Nord vers SE (El Faïdh).

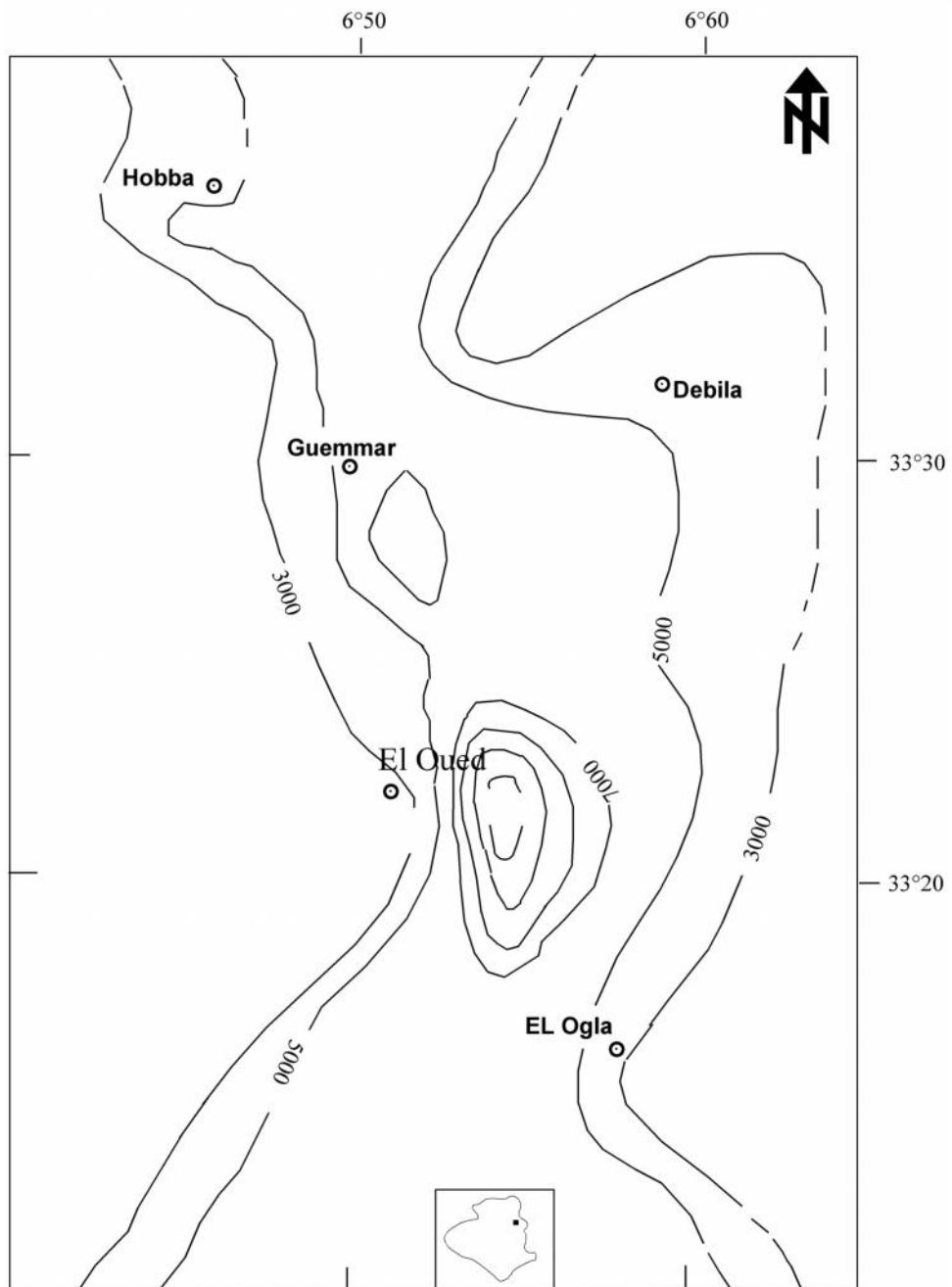


Fig. 15 : Répartition des iso-concentrations en RS (mg/l).

Cartes de répartition de (TH, Ca + Mg, Na + K, Cl et SO₄) :

Les cartes de répartition spatiale de ces différents paramètres, montrent des cartes d'allures, grossièrement, semblables.

Les principales informations que l'on peut tirer de ces différentes cartes sont les suivants :

- Cations ou anions augmentent de manières significatives des deux flancs vers le centre de la cuvette.

- Les fortes concentrations sont principalement localisées au centre de la région - ville d'El Oued.
- La carte de répartition des TH montre que la région du centre présente les valeurs les élevées en TH comme pour la carte du RS..

Cependant, il est à noter que la carte de la répartition des conductivités est comparable à celle du TH.

Classification des eaux :

Pour classer et faire ressortir les différents faciès chimiques de ces eaux, les données hydrochimiques ont été projetées sur le digramme de piper.

Toutefois, si Le digramme de Piper est bien adapté pour l'étude comparative d'un nombre important d'échantillons, il présente un risque d'erreur dans la comparaison des échantillons du fait d'une représentation en (%) des ions dont il faut prendre en toute précaution lors de l'interprétation.

Sur le diagramme de Piper on constate que :-

pour les cations, les eaux des différents puits se regroupent essentiellement en deux grandes familles « A » et « B ». Les eaux de la famille « A » sont sodiques avec des concentrations élevées en magnésium, tandis que celles de la famille « B » présentent un faciès mixte avec des teneurs relativement élevées en magnésien exception faite du puits 19 qui présente un faciès magnésien. Pour les anions, la distinction entre les deux familles n'est pas nette, toute fois, on note une évolution inverse de SO_4 par rapport à $(Cl+NO_3)$ de « A » vers « B » ($SO_4 \uparrow$, $(Cl+CO_3) \downarrow$ ou inversement). Pour l'ensemble cations-anions, la distinction entre les deux familles est nettement claire cependant, on enregistre une évolution naturelle avancée de ces eaux vers un faciès sulfaté sodique ou chloruré sodique et potassique (évolution de « B » vers « A »).

Diagramme de Piper

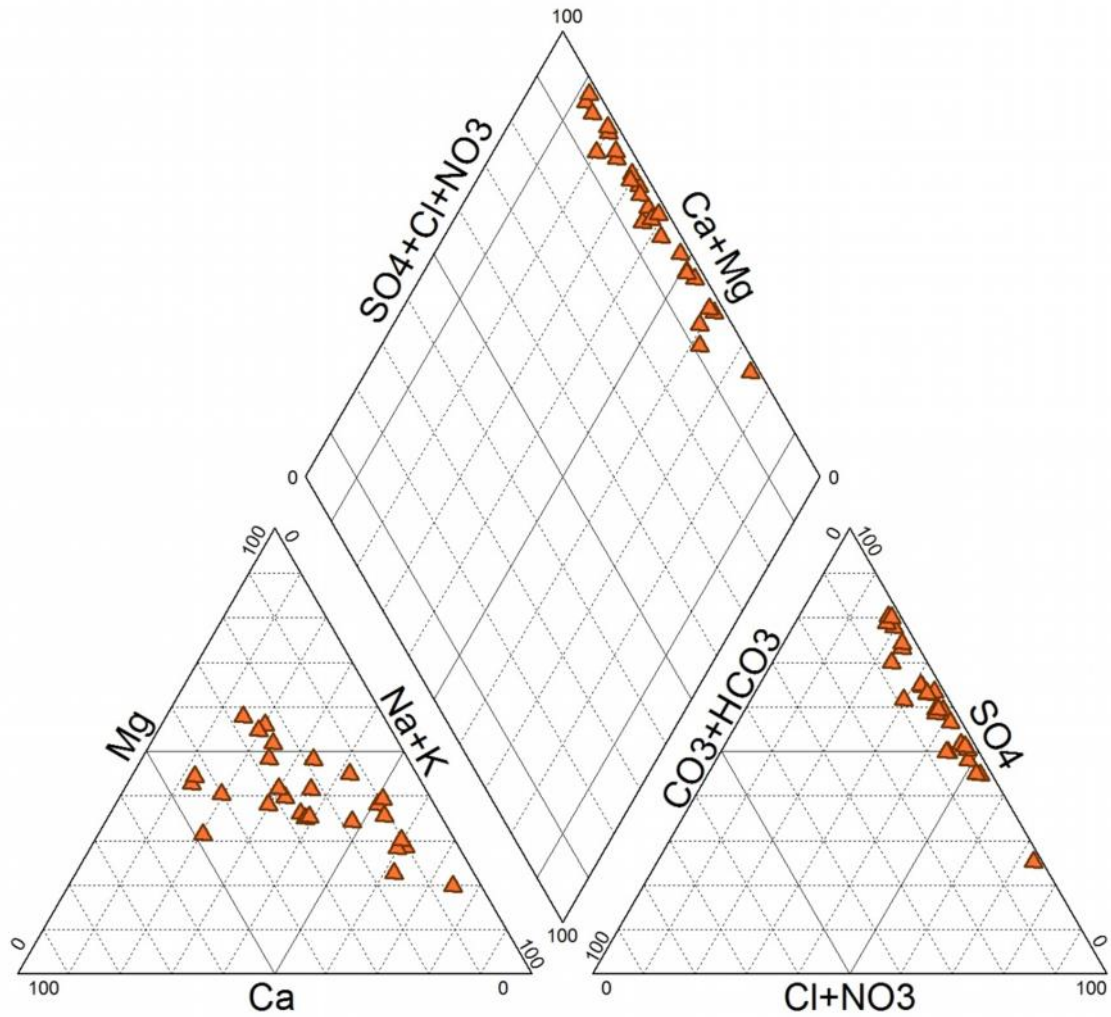


fig.16 diagramme de piper

Il ressort que les eaux de la nappe phréatique de Oued Souf se classent en deux familles principales :-

- la première a faciès sodique avec des concentrations élevées en magnésium, classe A, et caractérise les eaux de puits situés au centre de la cuvette.
- la deuxième a un faciès mixte avec des teneurs relativement élevées en magnésien, classe B, et caractérise les eaux de puits situés sur les flancs.

V_ Relation faciès chimique des eaux–cadre litho-structural de l'aquifère

Conclusion :

En conclusion de ce chapitre, il convient de rappeler ici que : -

- Dans la région d'étude, les eaux de la nappe phréatique de Oued Souf sont chargées fortement chargées dont les ions prédominants sont : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} pour les cations et Cl^- , SO_4^{2-} pour les anions.
- Les cartes des iso- concentrations montrent de grandes variations spatiales dont les concentrations maximales se manifestent dans le centre de la cuvette synclinale.
- Les faciès chimiques qui caractérisent les eaux de cette nappe sont sodique et potassique ainsi que mixtes.

Le premier se manifeste dans les régions centrales par contre le second sur les flancs de la cuvette.

CONCLUSION GENERALE

Dans la région de l'Oued Souf, la nappe phréatique est parmi les aquifères les plus sollicités que ce soit pour l'AEP ou pour l'irrigation; elle est contenue dans des formations sableuses (dunes) contenant des concrétions calcaires, des argiles et des minéraux silicatés.

les eaux de cette nappe sont chargées à très chargées et présentent deux familles à faciès chimiques évolutifs dont le chimisme est fortement influencé par différents paramètres liés au système aquifère global (lithologie, structure, ..). les ions prédominants sont : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} .

- la première à faciès sodique riche en potassium caractérise les eaux de puits situés au centre de la cuvette et sont les plus minéralisées
- la deuxième à un faciès mixte caractérise les eaux de puits situés sur les flancs de la cuvette et qui sont les moins chargées que celles de la famille précédente.

Les cartes des iso- concentrations montrent que les concentrations maximales se manifestent dans les secteurs centraux (centre de la cuvette) qui forme en même temps l'exécutoire naturel des eaux de surface et le creux de la structure synclinale.

L'action conjuguée des différents processus minéralisateurs ainsi que leurs combinaisons n'ont fait qu'accentuer la dégradation qualitative de ces eaux. Leur identification permettra une meilleure corrélation entre les différents ions présents. En effet, la répartition spatiale des faciès chimiques observées est étroitement liée à la nature lithologique et à la géométrie de la formation aquifère.

Ce type d'étude peut être étendu à d'autres régions du bas sahara septentrional. Son exploitation ainsi que l'intégration de ses résultats dans un plan d'aménagement régional, permettront au moins de minimiser la dégradation continue des eaux des nappes phréatiques dans le bas sahara et plus particulièrement dans le souf où la situation est alarmante.

BIBLIOGRAPHIE

Abdul Razzak, M. J et Khan M. Z. A, 2003, « Domestic Water Conservation Potential in Saudi Arabia », Journal of Environmental Management 14 (2), p. 167–78.

ABHS (Agence du Bassin Hydrographique Sahara Wilaya de Ouargla). Rapports et bilans sur les missions et les campagnes réalisées par l'ABHS,

ADE (Algérienne Des Eaux Wilaya de El-Oued). Rapports sur l'alimentation en eau potable (AEP), 10 p.

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya de Ouargla). Rapports et campagne des mesures

BENCHAIBA L (2006). Condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau. Bassin versant de l'Oued Bouhamdene (W. DE GUELMA EST ALGERIEN).

Cornet A. (1961) : Géologie de l'Oued Rhir. Terres et eaux, O.C.R.S, 3et4 trim.61.n°43.pp18-24.

CASTANY G (1968) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod (1982). Université Pierre et Marie-Curie Paris VII.

Cornet A., 1961. Initiation a l'hydrogéologie saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires sahariennes. S.E.S. Birmandreis, Alger, 108p

DAOUD.A (2002). Les ressources en eaux en Tunisie. Bilan et perspective. Département de Géographie. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Sfax.

Dervierux F. (1957): La nappe phréatique du Souf (région d'El Oued, Algérie)- Etude du renouvellement de la nappe. Terres et eaux , O.C.R.S, 3trim.56 et 1trim.57, n°29;,pp12-39.

Dubief J., 1963. Le climat du Sahara. M.m. Hors série. instituts de recherches Sahariennes, 2, 275p. Université d'Alger.

Guiraud R. (1978): Le continental terminal en Algérie. Ann.Fac.Sci.Dakkar,t31.pp85-87.

Nesson C. (1975): L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara Algérien. Mem.Doc, Ed.CNRS, Vol17;96p.

Mémoire de Magister en Hydraulique Option : Mobilisation des ressources hydriques. Université de Batna. 180 p.

TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1. Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guemar.....	7
Tableau 2. moyenne annuelle des températures de l'air à la station de Guemar – 1985-2007..	7
Tableau 3. Récapitulation des données de la température a la station de Guemar.....	8
Tableau 4. Répartition des précipitations moyennes mensuelles - la station de Guemar.....	8
Tableau 5. Les précipitations moyennes annuelles a la station de Guemar entre 1985-2007...	9
Tableau 6 . Unités lithostratigraphiques, géologiques et hydrogéologiques du Bas Sahara Septentrional.....	20
Tableau 7: Données brutes des analyses physico-chimiques valides des eaux de puits ou forages de la nappe phréatiques dans la vallée du Souf.....	22
Tableau 8: Calcul des concentrations en milliéquivalents par litre et vérification de la balance ionique.....	25
Tableau 9: Paramètres statistiques des caractéristiques des eaux de puits de la nappe Phréatique.....	26
Tableau 10 : Calcul de la formule ionique de chaque analyse.....	27

FIGURES

Fig.1. Ensembles géomorphologiques du Nord de l'Algérie. En encadré La région du Souf.....	4
Fig.2. Localisation de la zone d'étude.....	5
Fig.3. Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guemar.....	6
Fig.4. Variation de la température annuelle à la station de Guemar (1985-2006).....	8
Fig.5. Répartition des précipitations moyennes mensuelles annuelles à la station de Guemar.....	9
Fig.6. Précipitation moyennes annuelles a la station de Guemar 1985-2006.....	10
Fig.7. Diagramme pluviométrique de la station de Guemar.....	11
Fig. 8. Extrait de al carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique.....	13
Fig. 9. Logs et coupe géologique dans la région du Souf	15
Fig.10. Coupe hydrogéologique du SASS (in Moula, A. S. <i>et al.</i> , 2005).....	20
Fig 11 Le digramme (Na-Cl).....	28
Fig 12 Le diagramme (Ca-SO ₄).....	29
Fig 13 Le digramme (Ca-HCO ₃).....	29
Fig 14 Le digramme ((Ca+Mg) - (SO ₄ +HCO ₃)).....	30
Fig. 15 : Répartition des iso-concentrations en RS (mg/l)	31
Fig.16 diagramme de piper	33