



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'El-Oued



FACULTE DES SCIENCE ET
TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DES
SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE D'HYDRAULIQUE

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme Licence (LMD) en Hydraulique

Option : gestion des ressources en eau

THÈME

**Identification l'origine de la salinité des
eaux de la nappe phréatique
d'El-Oued**

Encadré par :

Mlle.ZAIR Nadjat

Présenté par :

FACI Si-Mostafa

ALLAG Noureddine

AnnéeUniversitaire : 2013/2014

Remerciements

Mes remerciements vont premièrement au Dieu La tout Puissant pour la volonté, la sante, et la patience, Qu'il m'a donné tout au long de mes années d'étude.

*Je tiens exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur **Mlle ZAIR Nadjjet** pour ses judicieux conseils, sa patience, sa persévérance toute la période de mon projet.*

Mes remerciements les plus profonds à : DHW, ADE.

Mes remerciements les plus vifs vont aussi à mes enseignants de la gestion des ressources en eau.

Je remercie tous mes collègues et mes amis pour leurs assistance et soutiens, et tout ceux qui ont contribué de proche ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail ma chère mère,

à mon père qui m'ont toujours soutenu

et aidé à affronter les difficultés,

pour tous ce qui ont fait pour que je puisse les

honorer , et leur patience durant ma vie.

A mes très chers frères et à mes chères sœurs, à toute ma famille

A mon cousin Mr Abderrezzak

A FACI Si-Mostafa

A mes chers amis.

Allag Noureddine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère,

A mon cher père qui m'ont toujours soutenu,

Qui m'ont aidé à affronter les difficultés,

*A tous mes enseignants pour leurs utiles conseils, leur patience, leur
persévérance.*

A mes très chères sœurs et frères.

A toute ma famille.

*A tous mes amis, Abderrezzak , Mohammed el Hadi, Djafer, Youcef,
Abderrahmane, Abdejabar, Abdeldjalil, Khaled, Nouredine.*

A tous les étudiants d'université d'El-Oued.

A tous.

FACI Si-Mostafa

Sommaire

Sommaire	
Introduction générale	

Chapitre I : Généralité

I-Introduction	1
II-Caractéristique géographiques	1
II-1- Situation géographique.....	1
II-2-Identification administrative	1
II-3- Topographie	5
III- Géologie de la région d'étude	5
III-1-Introduction.....	5
III-2- Stratigraphie régionale.....	5
III-2-1- Formation de l'ère Secondaire.....	5
III-2-2- Formations de l'ère Tertiaire	7
III-3-Interprétation des coupes	10
III-4- Géomorphologie	13
III-5- Relief.....	13
IV-Conclusion	14

Chapitre II : Hydro climatologie

I-Introduction	15
I-1- climatologie	15
I-1-1- Climat de la région	15
I-1-2-Etude des paramètres hydroclimatologiques	15
a- La température :.....	15
b- la pluviométrie	16
b-1-étude des précipitations	17
C-L' Humidité	18
D- L'Evaporation	19
E- Indice d'aridité	20
III- Bilan Hydrique	21
III-1- L'évapotranspiration	21
III-2-Formule de Thornthwaite ..	22
IV-Conclusion	24

Chapitre III : Hydrogéologie

I- Introduction	25
II- cadre hydrogéologie générale.....	25
II-1- la nappe phréatique	25
II-2- la nappe de complexe terminal.....	26
II-3- la nappe du continentale intercalaire.....	26
III-Litho stratigraphie des nappes d'El-Oued.....	27
III-1- Nappe phréatique	27
III-2- la nappe de complexe terminal	27
a)Les nappes de Sable	27
b)La nappe des calcaires est constituée de calcaires à silex.....	27

III-3- la nappe du continentale intercalaire.....	28
IV- Etude des coupes hydrogéologiques	29
a)Nappe du complexe terminal (CT).....	30
b) Nappe du Continent Intercalaire (CI).....	31
V-La piezométrie.....	32
VI-Conclusion.....	33
III -1-Origin de Na.....	40
III -2. Origine de calcium	40
IV - Analyse des composants principaux (ACP)	41
IV.1. Application de l'A.C.P aux données chimiques des eaux de la nappe libre deOued Souf.....	41
IV.1.1. Matrice de corrélation	42
IV.2. Projection sur le plan I–II.....	42
IV.3. Projection sur le plan III-IV.....	42
V- Identification la salinité des eaux de la nappe libre d'El-Oued.....	45
V-1- l'aptitude des eaux à l'irrigation	45
V-2- Carte de conductivité électrique.....	45
V-3- Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Richard	46
V-4 : La salinité	47
VI- La pollution des eaux de la nappe libre d'El-Oued	48
VII -Conclusion	49
Conclusion générale.....	
Bibliographies.....	
Listes desabreviations.....	

Liste des figures

Fig.I.01 : situation géographique de la région Oued Souf, d'après Encarta (2006).....	2
Fig.I.02 : photo satellite de la région d'El-Oued à altitude 146.38 km.....	3
Fig.I.03 : Répartition administratives des chefs -lieux des communes de la vallé d'oued-So..	4
Fig.I. 04 : La litho stratigraphique du forage F1àlAlbien (coupe d'après ANRH).....	9
Fig.I.05 : Coupe géologique N°1 Extraite à partir des logs lithologiques de forage.....	10
Fig.I.06 : Coupe géologique N°2 Extraite à partir des logs lithologique de forage.....	11
Fig.I.07 : Coupe géologique N°3 Extraite à partir des logs lithologique de forage.....	12
Fig.I.08 : Coupe géologique N°4 Extraite à partir des logs lithologique de forage.....	13
Fig.I.09 : Représentation des dunes et d'un Ghout.....	14
Fig.II.10 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (T°C) Durant les deux périodes (1913-1938 et 1975-2013).....	16
Fig.II.11 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm) Durant les deux périodes (1913-1938et1975-2013).....	17
Fig.II.12 : Variation interannuelle des précipitations (1975-2013).....	18
Fig.II.13 : Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne (1975-2011).....	19
Fig.II.14 : Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne à la station d'Oued Souf (1975-2011).....	20
Fig.II.15 : Diagramme Ombrothermique de la vallée du Souf (1975-2011)	21
Fig.III. 16 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).....	27
Fig.III. 17 : Coupe Hydrogéologique du Souf (A.N.R.H, 1989).....	29
Fig.III. 18 : Coupe Hydrogéologique d'El- Hamraia, El-Oued (A.N.R.H, 1989).....	32
Fig.III.19 : Carte piézométrique de la nappe phréatique 2002.....	33
Fig.III.20 : Carte piézométrique de la nappe phréatique 2012	33
Fig. IV. 21 : Diagramme de piper de la nappe nappe phréatique(2009) d'El-Oued	35
Fig.IV. 22 : Diagramme de Scholer de la nappe nappe phréatique(2009) d'El-Oued	35
Fig.IV.23 : la carte de la répartition des points de prélèvements (2009) dans la région d'El-Oued..	35
Fig.IV.24 : Carte de variation des teneurs de Ca^{+2} en mg/l de la nappe libre d'El-Oued.....	36
Fig. IV.25 : Carte de variation des teneurs de Mg^{+2} en mg/l de la nappe libre d'El-Oued	36
Fig.IV.26 : Carte de variation des teneurs de Cl^- en mg/l de la nappe libre d'El-Oued	37

Fig. IV.27 : Carte de variation des teneurs de SO_4^- en mg/l de la nappe libre d'El-Oued	38
Fig. IV.28 : Carte de variation des teneurs de Na^+ en mg/l de la nappe libre d'El-Oued.....	39
Fig. IV.29 : Carte de variation des teneurs de pH en mg/l de la nappe libre d'El-Oued	40
Fig. IV.30 : couple Na^+ et Cl^- (2009).....	41
Fig. IV.31 : couple TDS et Cl^- (2009).....	41
Fig. IV.32 : couple SO_4^{+2} et Ca^{+2} (2009).....	41
Fig. IV.33 : couple HCO_3^- et Ca^{+2} (2009).....	41
Fig. IV.34 : ACP des analyses chimiques de la nappe phréatique de Oued Souf	44
Fig. IV.35 : Diagrammes de <i>Richards</i> (1954) Péridoes (2009).....	45
Fig. IV.36 : Diagrammes de <i>Wilcox</i> (1948) Péridoes (2009)	45
Fig. IV.37 : Carte de variation des teneurs de conductivité électrique de la nappe phréatique d'El-oued (2009).....	46
Fig. IV.38 : Carte de Na% de la nappe phréatique d'El-oued (2009)	47
Fig. IV.39 : Carte de zonation par SAR de la nappe phréatique d'El-oued (2009).....	47
Fig. IV.40 : Carte de de salinité de la nappe phréatique d'El-oued (2009).....	48
Fig. IV.41 : Carte de variation des teneurs NO_3^- de la nappe phréatique d'El-oued (2009).....	49
Fig. IV.42 : Carte de variation des teneurs NO_2^- de la nappe phréatique d'El-oued (2009)	49

Liste des Tableaux

Tab.N°1 : températures moyennes mensuelles durant les deux périodes (1913-1938) et (1975-2013).....	16
Tab.N°2 :précipitations moyennes mensuelles (mm) durant les deux périodes(1913-1938 et 1975-2013).....	17
Tab.N°3 : précipitations moyennes annuelles (1975-2013).....	18
Tab.N°4 : Humidité relative moyenne mensuelle (1975-2011).....	19
Tab.N°5 :Evaporation moyenne mensuelle àOued Souf en % (1975-2011).....	20
Tab.N°6 : Bilan hydrique (C.W.Thornthwaite) (1975-2011).....	23
Tab.N°7 :Log stratigraphique et l’hydrogéologie de forage Barrémien dans la région du Souf.....	28
Tab.N°8 :Matrice de corrélation des paramètres chimiques.....	42

Introduction générale :

L'examen des tendances actuelles montre que nous nous approchons d'une « crise de l'eau » dans plusieurs régions, notamment au Moyen-Orient et en Afrique du Nord, ainsi que dans un nombre croissant de pays partout dans le monde.

La problématique de l'eau est un problème de quantité et de qualité, c'est-à-dire de ressources et de pollution.

Parmi ces cas de pollution figure la nappe d'El-Oued, connu par une forte salinité des eaux et une pollution multiple surtout due à l'activité agricole, les rejets des eaux usées domestiques et la surexploitation des eaux souterraines.

Plusieurs études ont déjà été réalisées sur la région d'El-Oued. Elles indiquent le rôle principal de l'agriculture, la nature des formations géologique dans la détérioration de la qualité des eaux.

Dans cette étude nous allons essayer de répondre à certaines questions :

- Quel est l'état de la qualité des eaux souterraine de la nappe libre d'El-Oued ?
- Quels est l'origine de la salinité des eaux souterraines et leur variation spatiaux temporelle ?
- Quels sont les différents polluants chimiques existants dans l'eau ainsi que leur origine ?

Pour répondre à ces questions, un examen de la chimie des eaux de l'aquifères a été réalisé pendant la période (Mars 2009). Plusieurs outils (géologique, géophysique, hydrodynamique et hydrochimique) ont été utilisés afin d'interpréter les données.

L'étude comprend deux parties essentielles :

- La première partie bibliographique représente une étude générale des caractéristiques géologiques, hydrogéologique et hydroclimatologique afin de déterminer la nature de l'aquifère et sa géométrie, et les principales caractéristiques climatologiques.

La deuxième partie pratique représente une étude sur l'évolution des éléments chimiques et les paramètres physiques des eaux souterraines, abordé avec la détermination l'origine de salinité et identifier des différents polluants chimiques existants afin de déterminer l'origine de ces éléments.

I-Introduction :

Le Souf vient du nom berbère désignant rivière ou Oued. A l'origine l'activité principale des habitants de la région était l'agriculture.

Les cuvettes (ghouts) que creusait l'agriculture et dans lesquelles les plantait ses palmiers, permettaient à ces derniers de puiser l'eau dont il avait besoin pour leur développement à partir de la nappe phréatique qui était tout proche.

Cette méthode facilitait la tâche à l'agriculteur, elle lui évitait donc l'irrigation des palmiers.

II Caractéristique géographiques**II-1- Situation géographique:**

La wilaya d'el Oued, est située au sud-Est de l'Algérie, et de Nord-Est du Sahara septentrional elle est limitée par les wilayas suivantes :

- Au Nord par Biskra, Khenchla, Tebessaa ;
- au Nord-Ouest par Djelfa ;
- au Sud et Sud-Ouest par Ouargla ;
- à l'Est par la Tunisie ;

Géographiquement El Oued est limitée par les coordonnées suivantes :

- Longitudes $X_1 = 05^{\circ}30'$ et $X_2 = 07^{\circ}00'$ Est.
- Latitudes $Y_1 = 35^{\circ}30'$ et $Y_2 = 37^{\circ}00'$ Nord

II-2-Identification administrative:

La wilaya d'El Oued occupe une superficie de 44586,80km²avec une population de 731500 habitants, Elle se divise en :

- 1) région de Oued Souf englobe 18 communes.
- 2) région de Oued Righ englobe 08 communes.

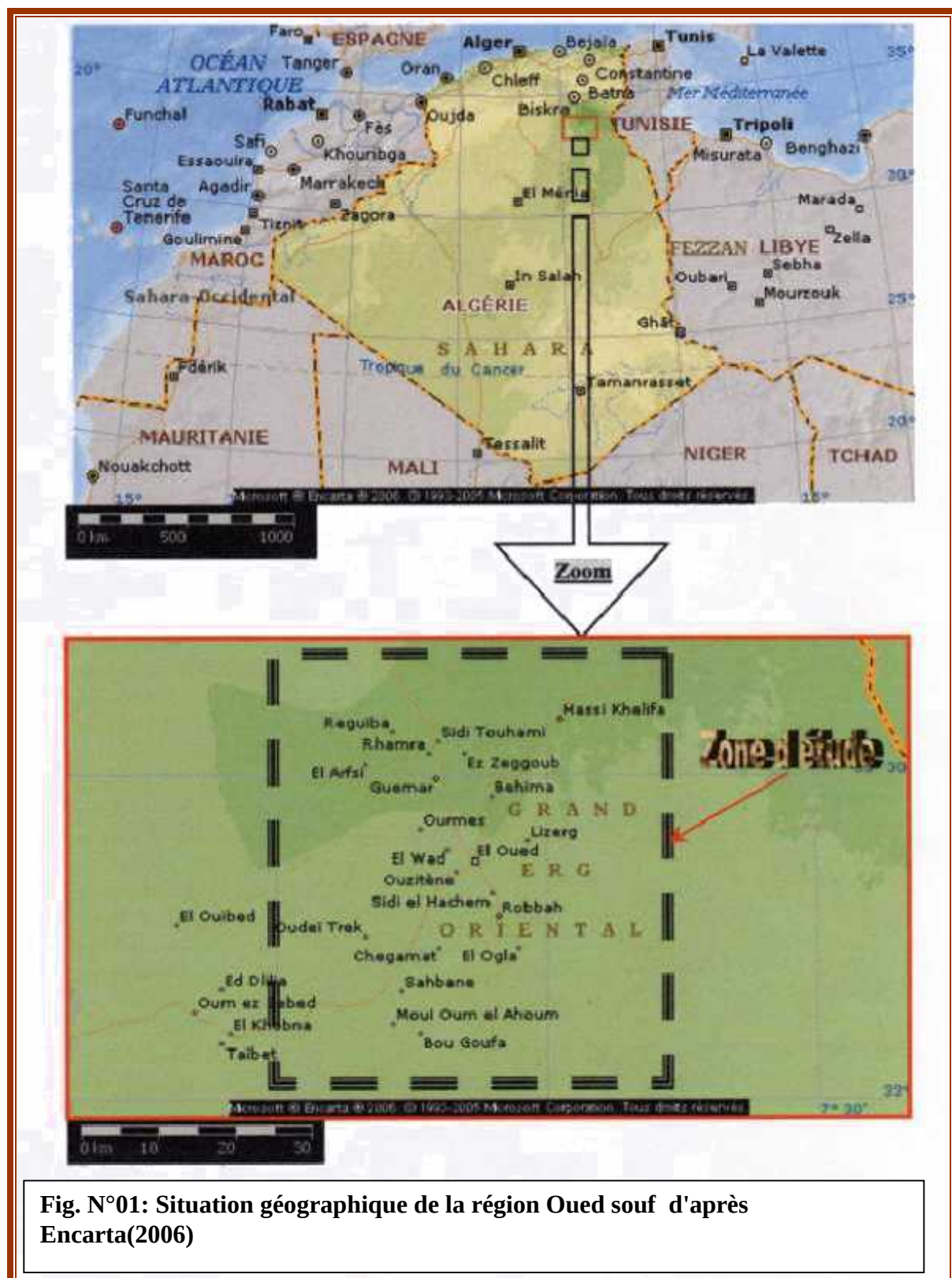


Fig. N°01: Situation géographique de la région Oued souf d'après Encarta(2006)

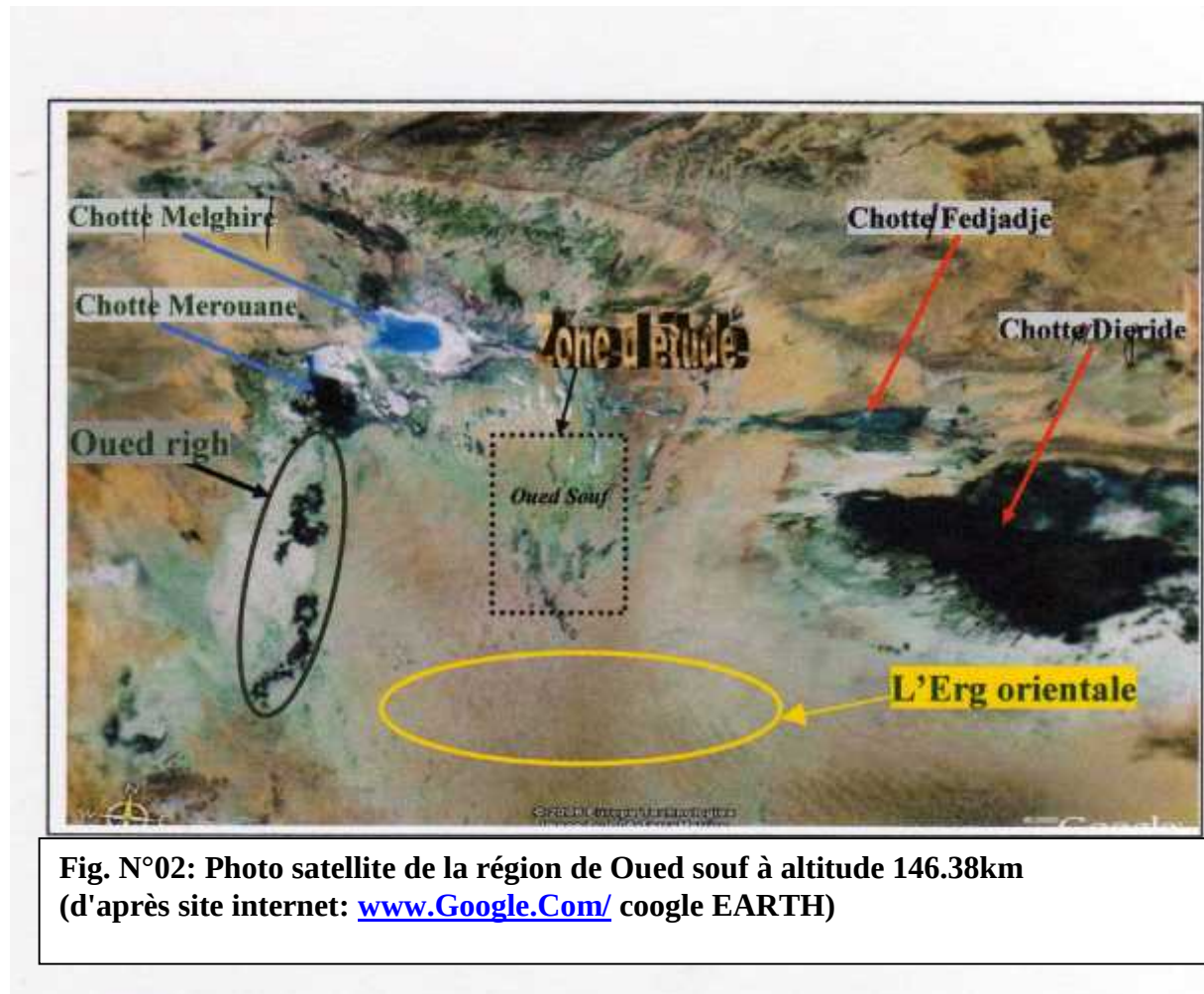


Fig. N°02: Photo satellite de la région de Oued souf à altitude 146.38km
 (d'après site internet: www.Google.Com/ coogle EARTH)

Notre zone d'étude est la région de souf, qui représente 18 communes et couvre une superficie de 11738,4km² administrativement et englobe un nombre de population de 524700 habitants .Selon le recensement de 2012. Cette région se trouve limitée au nord par la zone des chotts (Melghir et Merouane), au sud par l'extension de l'Erg oriental, à l'ouest par l'Oued Righ et à l'Est par la frontière tunisienne.(FIG N0 :03)

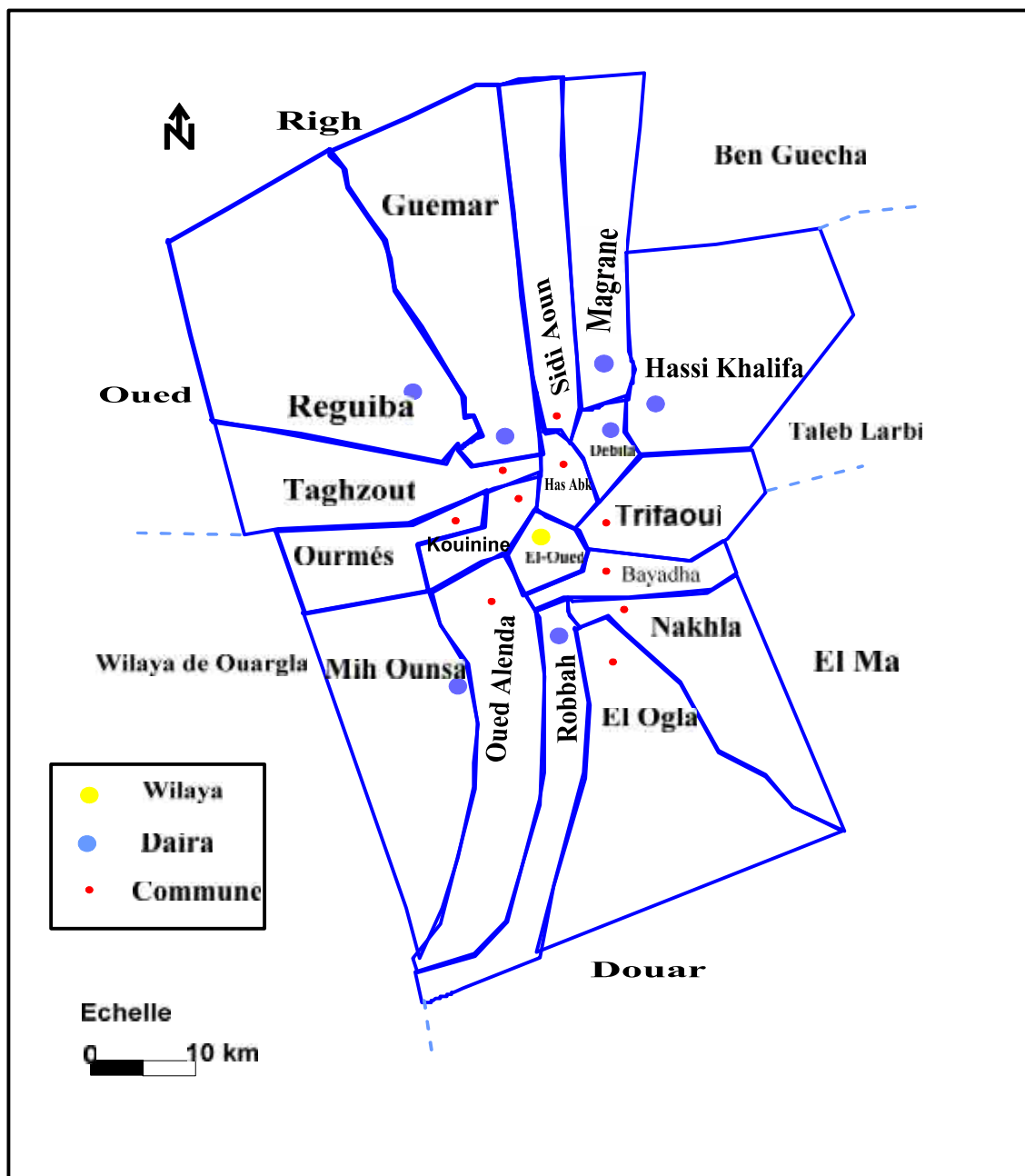


Fig.N° 03 : Répartition administratives des chefs -lieux des communes de la vallée d'Oued -Souf (Khechana. S :2007)

II-3- Topographie:

La région de Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude est située au Sud-Est du pays- Le point le haut se trouve à la cote 125m à la commune de Essoualah, alors que le point le plus bas se trouve à la cote 29m à la commune de Réguiba (Foulia).

L'altitude moyenne de la région est de 80 mètres et accuse une diminution notable du Sud vers le Nord pour être de 25 mètres au dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara. (A.N.R.H : 2005).

III- Géologie de la région d'étude:**III-1-Introduction:**

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet la détermination des horizons susceptibles être aquifères.

La région d'étude est exactement dans la partie Nord de la plate forme saharienne caractérisée par des formations détritiques particulièrement sableuses, elles apparaissent sous forme de dunes et anti dunes. Car 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 de tertiaire continental.

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

III-2- Stratigraphie régionale:

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'ANRH (1993) sur la région d'Oued-Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers la plus récente (**Fig.2**)

III-2-1- Formation de l'ère Secondaire:**o Le Barrémien :**

Cet étage est capté par tous les forages du continental intercalaire réalisés dans cette région; il présente une lithologie d'alternance de grès avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

o L'Aptien :

Comme le Barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

o L'Albien :

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et par des calcaires avec passages de silex et d'argile. La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

o Le Vraconien :

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomanién argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire. Dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

o Le Cénomanién:

Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

o Le Turonien :

Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 mètres.

o Le Sénonien :

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès : l'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base et l'autre au Sénonien carbonaté au sommet.

➤ Sénonien lagunaire :

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien. Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

➤ Le Sénonien carbonaté :

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres. Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulite.

III-2-2- Formations de l'ère Tertiaire:**o L'Eocène:**

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

o Le Miopliocène :

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T).

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès.

Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et D'épargne séparent cet horizon en 4 niveaux:

➤ **Niveau argileux :**

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Miopliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénon - Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

➤ **Niveau grès sableux :**

C'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles. C'est à ce niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

➤ **Niveau argileux :**

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau (sableux) du Miopliocène.

➤ **Niveau sableux :**

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du Complexe Terminal.

II-2-3-Formation du Quaternaire:

Elles se présentent sous forme des dunes de sable dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel alluvial et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses.

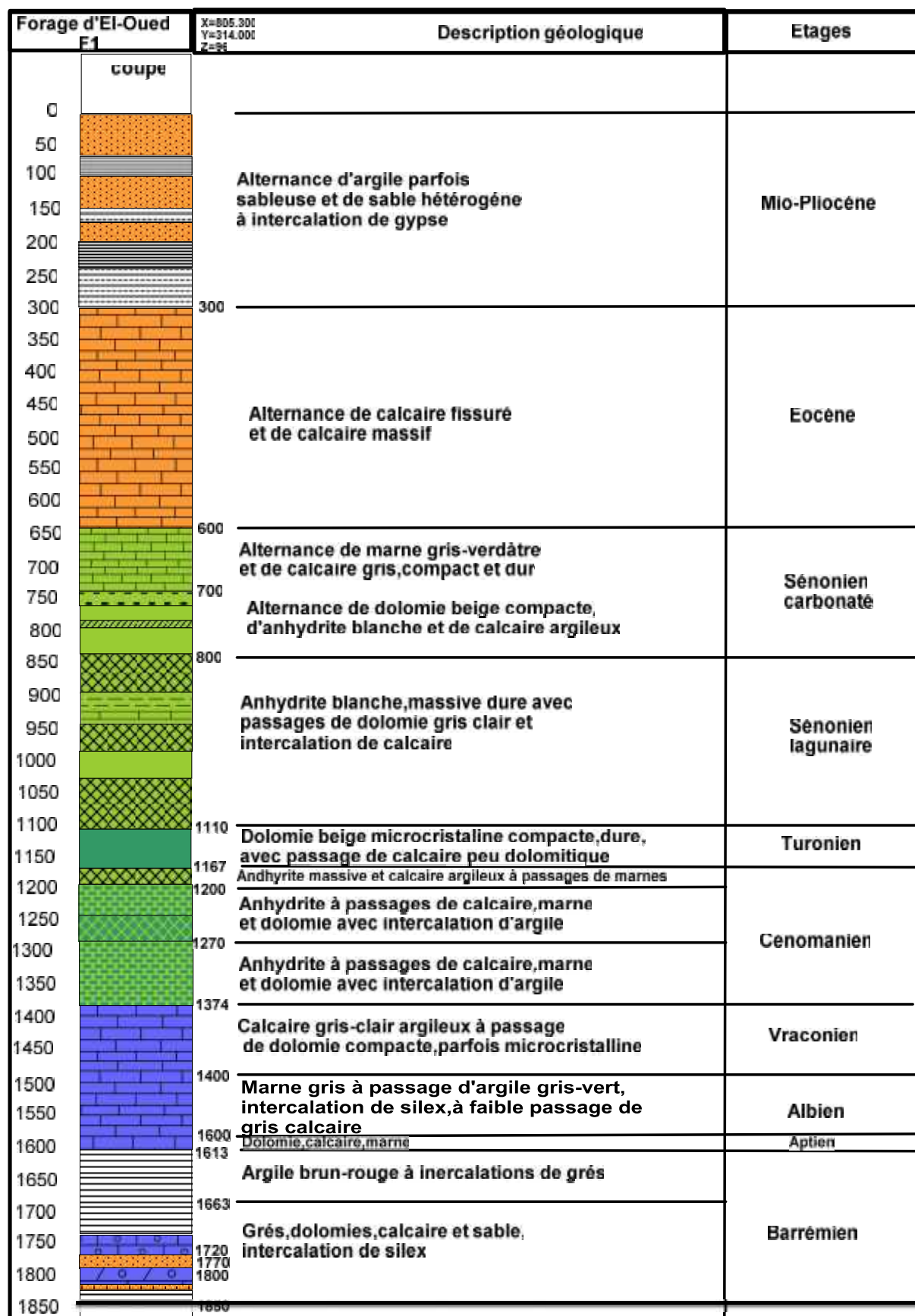


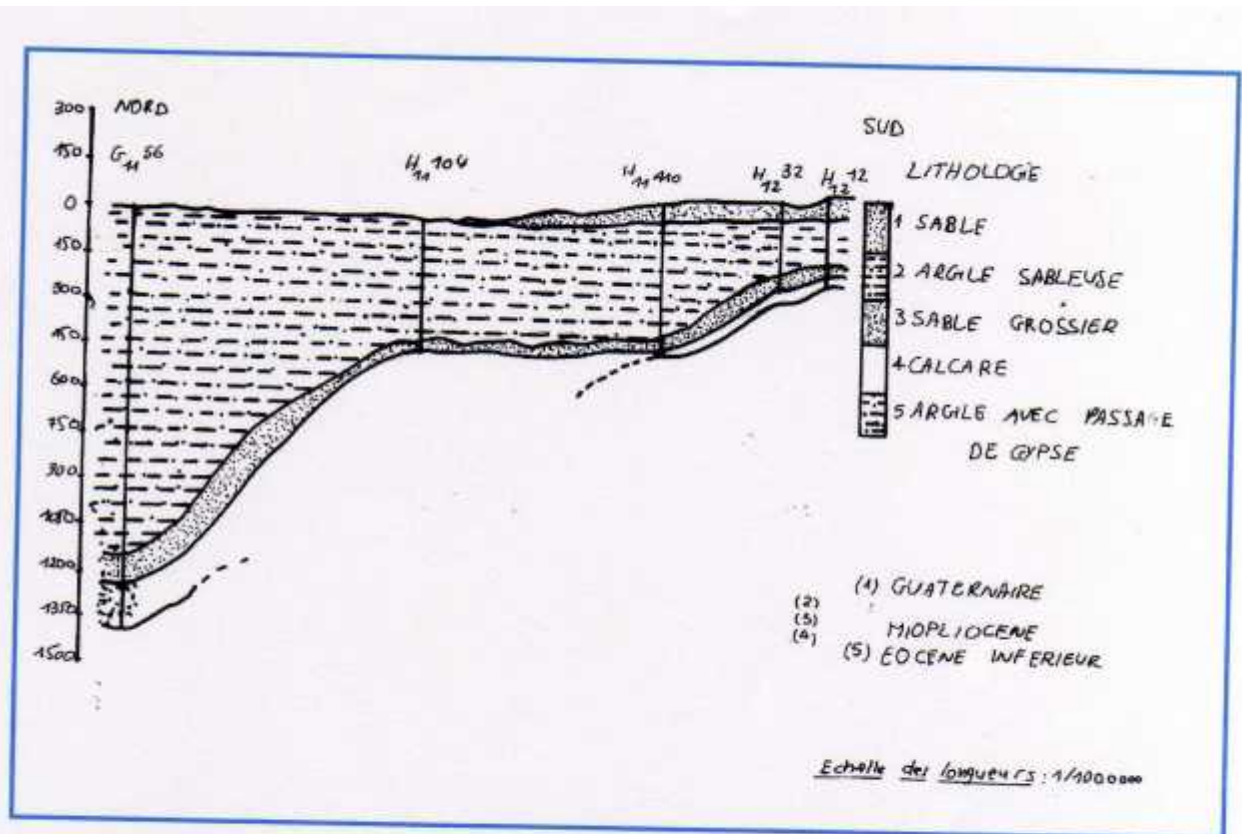
Fig.N° 04 : La litho stratigraphique du forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993)

III-3-Interprétation des coupes :

Ces coupes ont pour but, d'une part d'établir une corrélation lithologique du sous-sol, d'autre part d'identifier l'extension géographique ainsi que l'épaisseur utile de la nappe phréatique de la région.

a) Coupe N°1 :

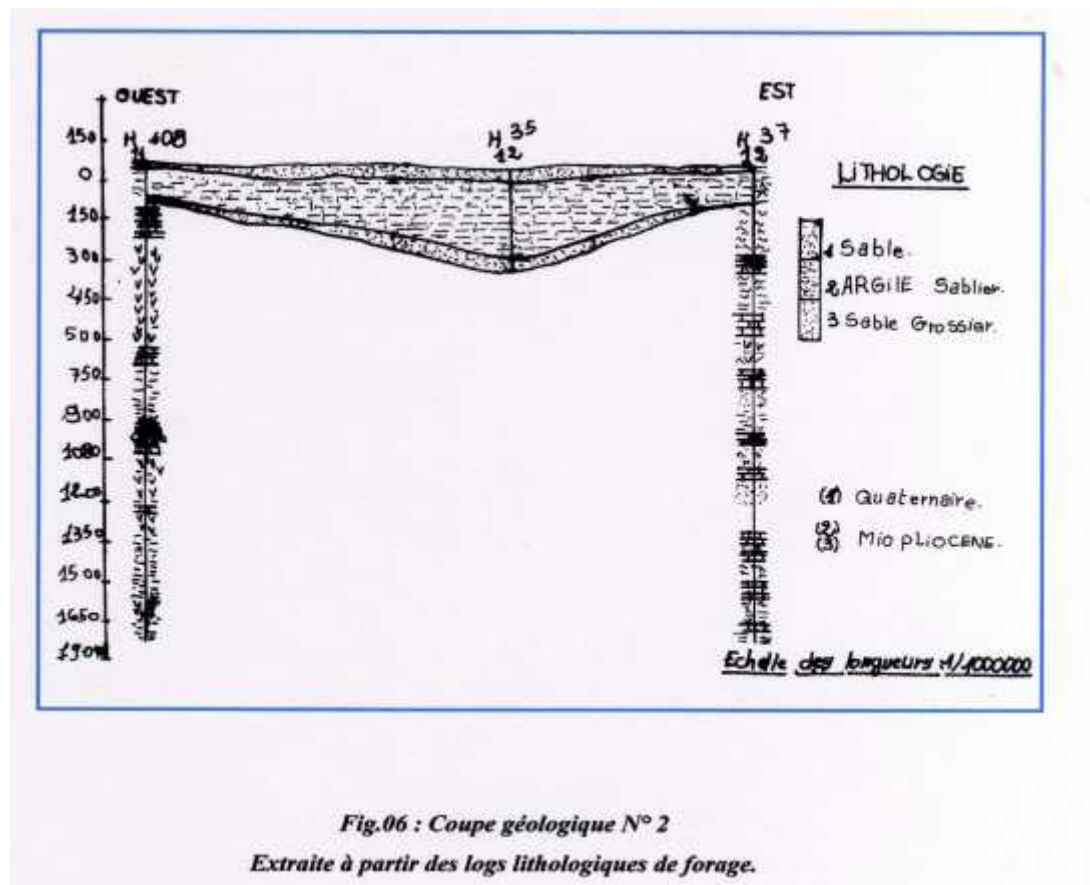
Cette coupe orientée Nord – Sud, faite sous la base de coupes de forages, on remarque que l'épaisseur de formation miopliocène (constituée par des argiles sableuses, de sable et de calcaire) diminue du Nord vers le Sud. Au niveau du H11.104, on remarque l'absence des formations quaternaires correspondant aux formations sableuses ; ce manque ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud (voir H12.32 et H12.23).



b) Coupe N°2 :

Cette coupe est effectuée sur une distance de 170 Km allant de DJAMAA vers BOUAROUA, en passant par MAGRANE, on constate que les couches d'argile sableuses qui correspondent au substratum de la nappe phréatique sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus importante que les formations sableuses).

Cette importance est plus remarquable dans la région de Magrane que dans les autres régions. C'est ce qui nous donne une forme de cuvette remplie de sédiments sableux d'âge quaternaire correspondant à ceux de la nappe phréatique. L'épaisseur de la couche de sable diminue progressivement à l'Est et à l'Ouest de Magrane. C'est ce qui montre que ces sédiments quaternaires suivent l'allure de cette cuvette par les argiles.



c) Coupe N°3 :

Cette coupe est orientée du Nord-Est vers Sud-Ouest en allant de la région dite MERZAKA vers OURMES, on remarque au niveau du forage (H12.52), l'absence de formation quaternaire. Ceci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne. Les formations de miopliocène sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de 200m). Cette dernière devient régulière sur tout le reste de la région, par contre celle des formations quaternaires sont constituées par des sables qui changent d'une région à une autre.

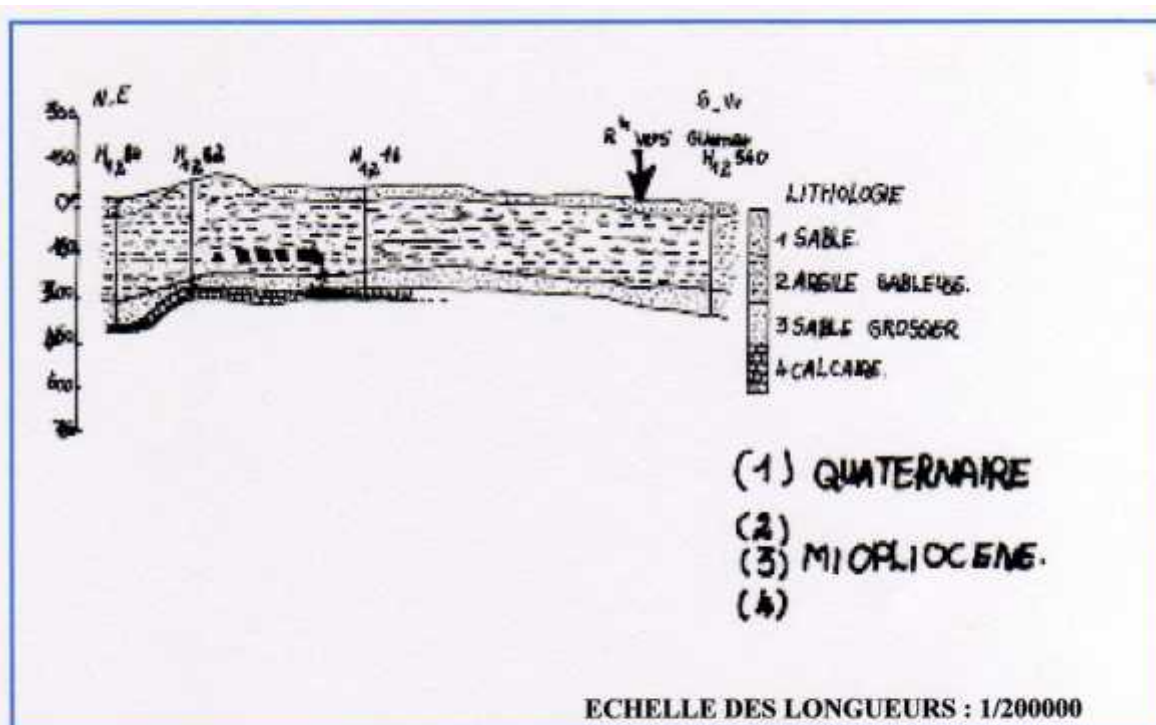


Fig.07 : Coupe géologique N° 3

Extraite à partir des logs lithologiques de forage.

d) Coupe N°4 :

La coupe N°4 est différente des autres surtout du point de vue stratification ; cette dernière entrecroisée, donne ainsi naissance à des « biseautages » résultant d'un évènement paléogéographique. Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. Quant aux formations quaternaires, on constate que leur épaisseur est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-est.

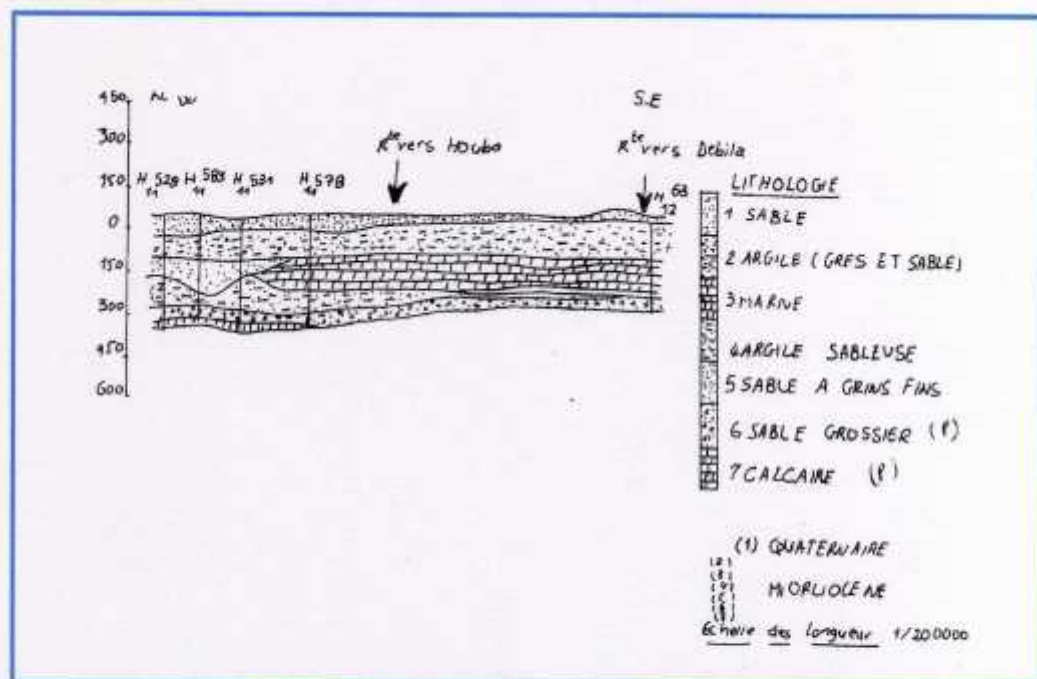


Fig.08 : Coupe géologique N° 4
Extraite à partir des logs lithologiques de forage.

III-4- Géomorphologie:

Notre aire d'étude ne présente pas une grande complexité morphologique, Il s'agit d'une surface des dunes de sables d'origine continentale et d'âge quaternaire, de direction (S-N) c'est la partie Nord de grand Erg oriental.

III-5- Relief :

Le relief de la ville 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.

La variation de cote est relativement faible, le point le plus bas correspond à la cote 130m alors que le plus haut atteint la 60m.



Ghout (07/02/2005)

Dunes(07/02/2005)

Fig. N°09: Représentation des dunes et d'un Ghout.

Site web : www.Oued Souf.com

IV- Conclusion :

La ville de Oued Souf s'étend sur une superficie de 11738, 4Km². Elle est limitée au Nord par la commune de Kouinine, au Sud par la commune de Bayadha, à l'Est par la commune de Trifaoui et à l'Ouest par la commune de Oued Alenda.

D'après le Modèle Numérique du Terrain (MNT), cette région a une altitude moyenne de 82 m au-dessus du niveau moyen de la mer et accusée par une diminution notable du Sud-ouest au Nord pour atteindre les 66 m d'altitude.

Selon la coupe d'un forage de l'Albienne la ville d'Oued Souf, les principaux étages repérés dans cette région sont :

Le Barrémien, L'Aptien, L'Albien, Le Vraconien, Le Cénomanien, Le Turonien, Le Sénonien, L'éocène et Le Mio- pliocène. Parmi ces étages, seuls le Cénomanien et l'Eocène jouent le rôle d'écran imperméable.

I-Introduction :

La connaissance des caractéristiques hydroclimatologiques est nécessaire

Pour toute étude hydrogéologique. En effet, elle permet d'une part d'évaluer l'alimentation des nappes souterraines et d'autre part d'avoir une idée sur les phénomènes météorologiques qui caractérisent la région.

I-1- climatologie :

L'état de l'atmosphère peut se caractériser par la mesure des différentes grandeurs physiques comme la température, les précipitations, l'humidité, le vent,.....etc.

Dans ce chapitre on a étudié des paramètres hydroclimatologiques mesurés durant deux séries (1913-1938 et 1975-2011) à la station de Guemar (El-Oued).

I-1-1- Climat de la région:

Le climat de la région est de type saharien caractérisé par un été chaud et sec où la température peut atteindre 54°C et un hiver doux. Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence connue sous le nom de Sirocco ainsi que des vents de sables durant le printemps.

Les données pluviométriques, de la température, de l'humidité, de l'évaporation, etc.....) ont été observées par l'Office National de la Météorologie (O.N.M.) et enregistrées à la station climatologique de l'aérodrome de Oued Souf donnent les informations sur la température de 36 et 26 (pour Seltzer) années d'observation.

I-1-2-Etude des paramètres hydroclimatologiques :**a- La température :**

Les températures dans cette région sont constamment variables. Les écarts entre la nuit et le jour dépassent parfois 21°C. A l'ombre, les minimax de températures progressent régulièrement de 3 °C à 25 °C, alors que les maximas de 15°C à 40°C et c'est selon la durée de l'ensoleillement. Ces valeurs sont élevées entre le début du mois de Janvier et la fin du mois de Juillet.

En outre, nous constatons que les données obtenues auprès du service de météorologie (au niveau de la station d'El-Oued) montrent que la température s'échelonne sur deux périodes différentes : L'une allant de 1913 à 1938 établie par Seltzer alors que l'autre plus récente (1975 à 2011).

- **La température moyenne mensuelle :**

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de température moyennes mensuelles observées durant les deux périodes (1913-1938 et 1975-2011).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
T(°C) 1913- 1938	29,2	22,8	16,3	21,4	10,9	13,3	16,8	21	25,2	30,3	35	32,7	22,9
T(°C) 1975- 2013	29,53	24,92	17,08	11,35	11,03	11,75	17,28	21,21	25,84	31,07	34,48	33,49	

Tab.N° 01: températures moyennes mensuelles durant les deux périodes (1913-1938) et (1975-2013).

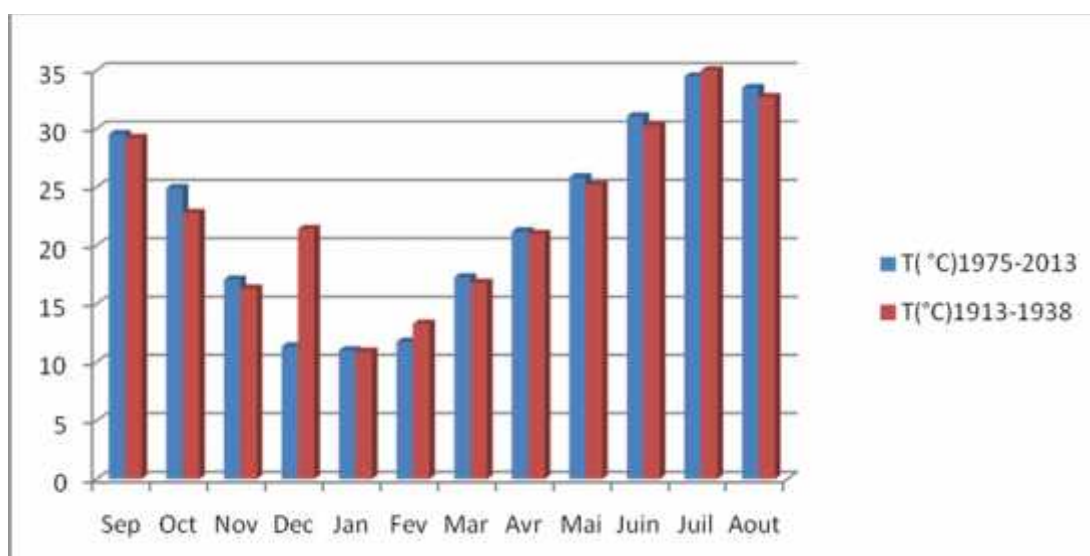


Fig.N°10 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (T°C) Durant les deux périodes (1913-1938 et 1975-2013).

L'histogramme (Fig.10) montre que : le mois de Janvier est le mois le plus froid et le mois de Juillet est le plus chaud pour la série de(1913-1938). Pour la série (1975-2005), le mois le plus froid est le même que la première série 1913-1938 (Janvier) ; par contre le mois le plus chaud est Aout et Juillet.

b- la pluviométrie :

D'après Dubief (1963) les origines des précipitations dans les régions sahariennes sont différentes et c'est selon les saisons :

Durant l'été, elles sont dues aux dépressions de mousson, et en hiver, leur provenance est due aux dépressions accompagnant la migration vers le sud des fronts polaires, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano Sahariennes traversant notre Sahara du sud vers le Nord.

b-1-étude des précipitations :

- la précipitation moyenne mensuelle :**

Le tableau ci-dessous donne les précipitations moyennes mensuelles observées durant deux périodes (1913-1938) et (1975-2013).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
1913-1938	3	7	13	8	5	9	13	6	5	4	0	0	6.08
1975-2011	3,74	2,68	5,33	4,86	5	1,35	5,89	17,54	1,54	0,62	0,12	0,63	

Tab.N° 02: précipitations moyennes mensuelles (mm) durant les deux périodes (1913-1938 et 1975-2013).

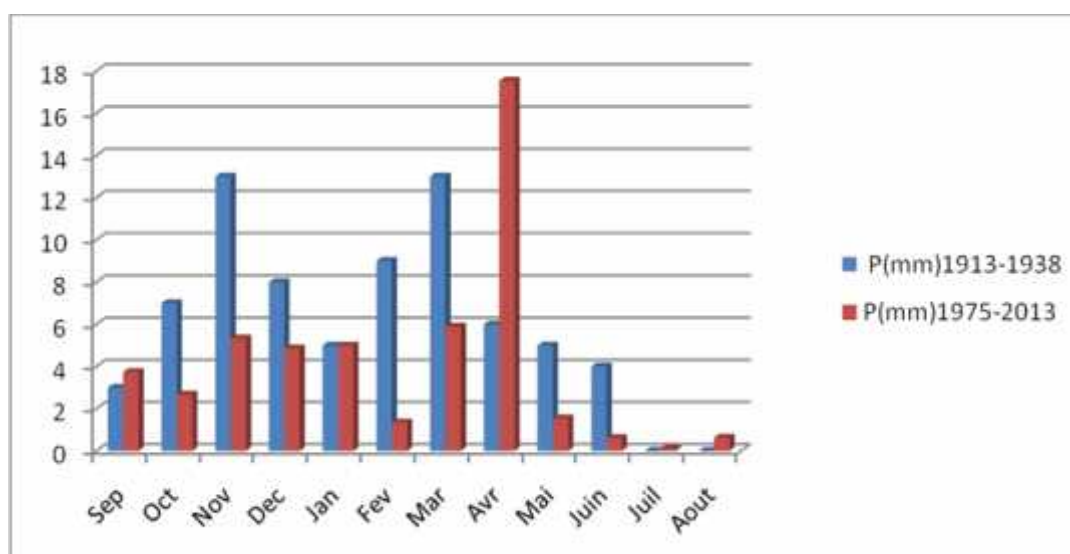


Fig.N° 11: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm) Durant les deux périodes (1913-1938 et 1975-2013).

L'histogramme (Fig11) montre que : la première série (1913-1938) montre deux maximums, le mois de Novembre et le mois de Mars avec une hauteur de l'ordre de 13 mm, par contre, la deuxième série (1975-2013) présente un seul maximum c'est le mois de Janvier 12.83 mm. On constate qu'il y a des précipitations de mois d'Aout pour la deuxième série ; par contre la première série présente une sécheresse.

Nous constatons que les mois de Mars et Novembre sont le plus arrosés.

- **Précipitation interannuelle :**

Année	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
P(mm)	110,83	122,4	93,38	72,69	114,94	106,4	40,41
Année	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
P(mm)	89,27	24,92	61,53	42,25	97,13	50,7	77,46
P(mm)	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Année	77,46	21,78	168,7	86,78	82,33	50,38	51,78
Année	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
P(mm)	63,27	114,2	77,24	80,17	134,66	42,47	57,31
Année	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
P(mm)	51,13	68,9	49,94	52,65	35	54	31
Année	2009	2010	2011	2012	2013		
P(mm)	96,6	45,6	28	22,9	64		

Tab.N°03 : précipitations moyennes annuelles (1975-2013) .

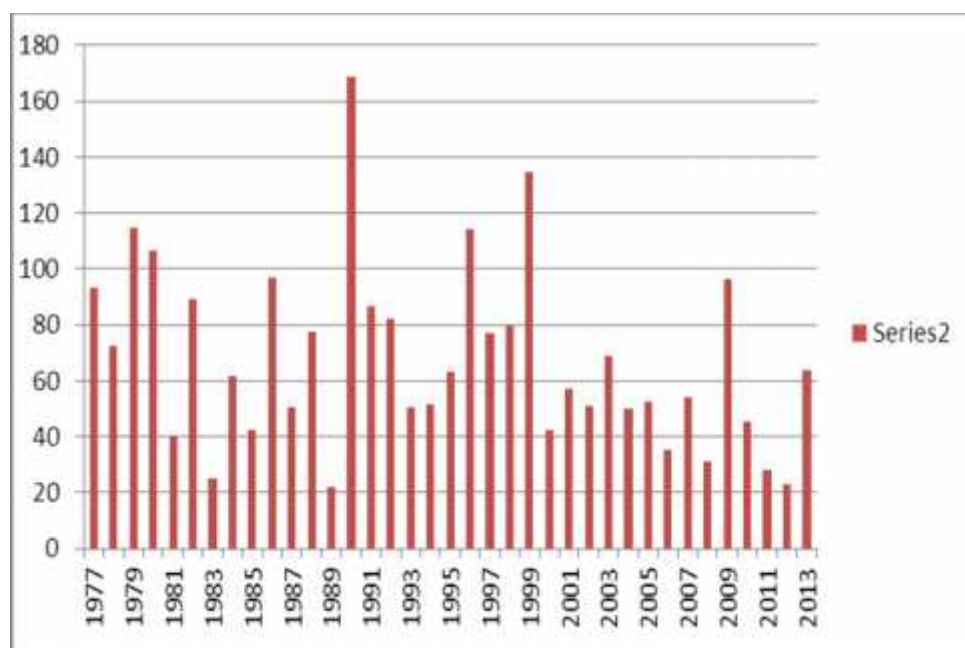


Fig.N°12 : Variation interannuelle des précipitations (1975-2013).

C-L' Humidité :

Le tableau suivant donne les valeurs d'humidité relative moyenne, observées durant la période de (1975-2013). L'histogramme (Fig :N°12) permet de distinguer les mois secs des mois relativement humides.

Mois	SEP	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
HR%	41.55	49.13	55.57	64.22	59.75	49.07	44.51	38.86	35.57	31.02	29.23	31.15	44.13

Tab.N°04: Humidité relative moyenne mensuelle (1975-2011)

On remarque grâce à ces valeurs que les mois humides (HR > 49%) sont Janvier, Février, Mars, Octobre, Novembre, Décembre et les mois secs caractérisant le reste de l'année.

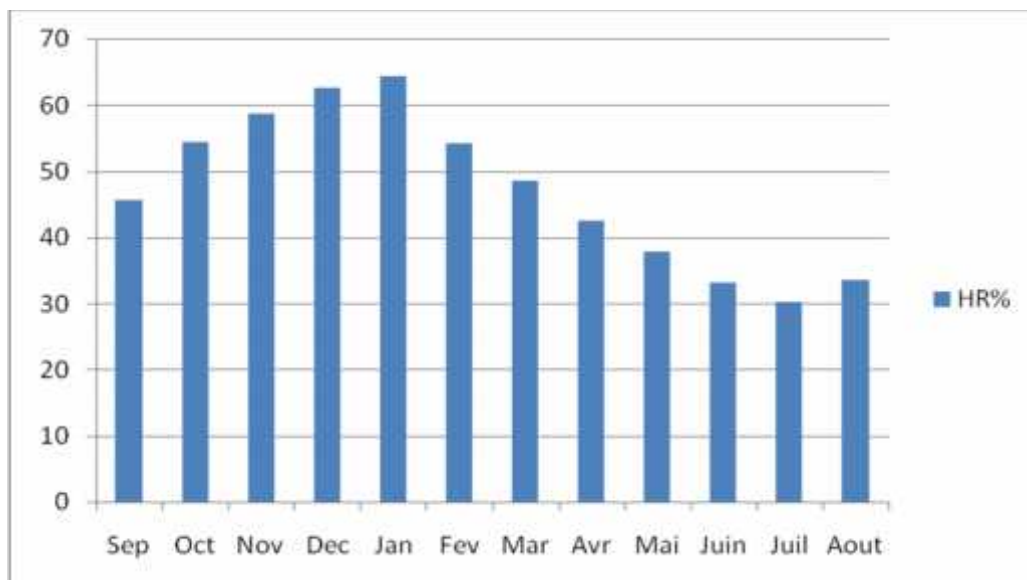


Fig.N°13 : Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne (1975-2011)

D- L'Evaporation :

Le tableau suivant porte les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation période (1975-2011). L'évaporation la plus élevée se produit en Juin. Juillet et Août et la plus faible en Janvier. En moyenne elle est de 15.45mm par an.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
EVAPmm	15,24	11,03	8,65	7,78	7,59	9,73	13,77	17,56	21,5	25,04	26,85	20,67	15,45

Tab. N°05 : Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en % (1975-2011)

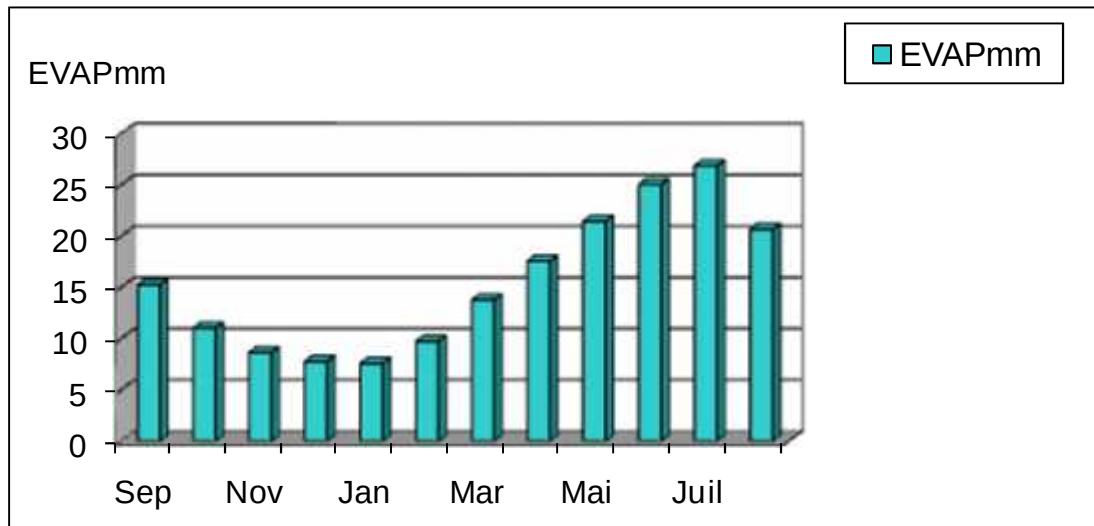


Fig. N°14 : Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne à la station de Oued Souf (1975-2011)

E- Indice d'aridité :

Cet indice permet d'identifier le type de climat dans la région d'étude à l'aide de la formule de MARTONE.

$$I = P / 10 + T$$

- si $20 < I < 30$, le climat est tempéré
- si $10 < I < 20$ le climat semi-aride
- si $7,5 < I < 10$ le climat est septique
- si $5 < I < 7,5$ le climat est déserte
- si $I < 5$ le climat est hyper aride

On a $T = 21.94^{\circ}\text{C}$

$P = 61.16 \text{ mm}$ Donc $I = 1.91$, on a un climat hyper aride.

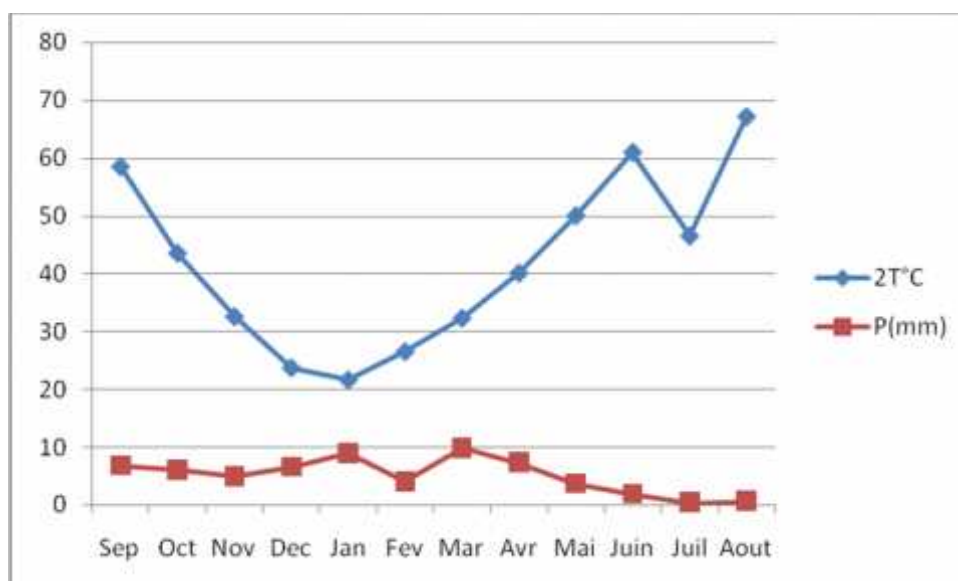


Fig.N°15 : Diagramme Ombrothermique de la vallée du Souf (1975-2011)

Selon la définition de GAUSSEN et BAGNOULS, une période sèche est celle pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois : $P \leq 2 T$.

Cette relation, permet d'établir un diagramme Ombrothermique, sur lequel les précipitations sont portées sur une échelle double des températures.

III- Bilan Hydrique :

III-1- L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est déterminée par l'ensemble des processus d'évaporation (phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique). On distingue alors l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui correspond à la quantité d'eau pouvant être restituée par la transpiration des végétaux et l'évaporation à partir du sol et l'évapotranspiration réelle (ETR) qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée.

- **L'évapotranspiration réelle (ETR) :**

Résultant de même facteurs physico biologiques que l'ETP sur un sol et sa couverture, soumis à une alimentation par régime pluviométrique naturel, qui particulièrement en zone arides, limite le processus aux disponibilités en eau du sol et des végétaux.

Selon la formule de TURC :

❖ **ETR**

❖ ETR : L'évapotranspiration réelle en mm ;

P : précipitation moyenne annuelle en mm ;

L : pouvoir évaporant de l'atmosphère ; $L = 300 + 25T + 0.05T^3$

T : Température moyenne.

• **L'évapotranspiration potentielle (ETP) :**

III-2-Formule de THORNTHWAITE :

C'est une des plus anciennes formules mises au point, elle reste très employée en hydrologie car sa résolution ne nécessite que la connaissance de la température moyenne. Un facteur correctif (K) prend en compte la durée du jour ; il est lu sur des tables qui donnent sa valeur en fonction de la latitude et du mois considéré.

L'ETP par la formule de THORNTHWAITE s'écrit :

$$\text{ETP mm} = 16 \left(10 \cdot \frac{t}{I} \right)^a \quad \text{ou} \quad I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{ou,} \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad \text{et} \quad a = 0.016 \cdot I + 0.$$

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	29,25	14,5	1,03	143,2	6,84	-136,4	-1,0	0,0	0,0	6,8	136,4	0,0
O	23,27	10,3	0,97	77,8	6,04	-71,8	-0,9	0,0	0,0	6,0	71,8	0,0
N	16,28	6,0	0,86	29,2	4,91	-24,3	-0,8	0,0	0,0	4,9	24,3	0,0
D	12,8	4,2	0,81	15,5	6,6	-8,9	-0,6	0,0	0,0	6,6	8,9	0,0
J	10,8	3,2	0,87	11,0	8,61	-2,4	-0,2	0,0	0,0	8,6	2,4	0,0
F	13,25	4,4	0,85	17,6	4,06	-13,6	-0,8	0,0	0,0	4,1	13,6	0,0
M	16,15	5,9	1,03	34,4	9,87	-24,5	-0,7	0,0	0,0	9,9	24,5	0,0
A	20,05	8,2	1,10	61,7	7,32	-54,4	-0,9	0,0	0,0	7,3	54,4	0,0
M	25,02	11,4	1,21	115,6	3,62	-112,0	-1,0	0,0	0,0	3,6	112,0	0,0
J	30,51	15,5	1,22	187,7	1,86	-185,9	-1,0	0,0	0,0	1,9	185,9	0,0
J	33,26	17,6	1,24	234,8	0,37	-234,4	-1,0	0,0	0,0	0,4	234,4	0,0
A	33,59	17,9	1,16	224,9	0,7	-224,2	-1,0	0,0	0,0	0,7	224,2	0,0
Annuel	22,0	119,0		1153,5	60,8	-1092,7				60,8	1092,7	0,0

Tab.N°06 : Bilan hydrique (C.W.Thornthwaite) (1975-2011)

Au terme de ce bilan hydrique pour la station de Guemar selon Thornthwaite, nous pouvons dire que :

- Au cours de l'année, la pluviométrie annuelle. dépasse un fois l'évapotranspiration potentielle.
- l'ETPR atteint le maximum au mois de Mars (9.9 mm) et son minimum au mois de Juillet (0.4 mm).
- La constitution de la RU et VR est null.

- La sécheresse constitue une partie prédominante de l'année hydrologique. Elle dure 11 mois de l'année, sauf Janvier avec une valeur de (0.2).
- Il y a un déficit agricole durant toute l'année d'où la nécessité d'irriguer.

Le bilan hydrique a montré que notre région d'étude est marquée par une précipitation très faible.

IV -CONCLUSION:

La répartition interannuelle des précipitations d'une moyenne 5,06 mm, on a, pour la température une valeur moyenne de 21,94 C°, pour l'humidité une moyenne de 47,13%, les vents a une vitesse moyenne de 3,12km/h.

-Le mois le plus humide est Janvier caractérisé par une forte humidité (moyenne de 64,25%) et d'un faible rayonnement solaire et le mois le plus sec est juillet caractérisé par une faible humidité (moyenne de 30,3 %) et d'une faible évaporation

-La brillance de soleil est très élevée (moyenne de 352 heures) ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

-On peut conclure que la région de souf est caractérisée par un climat hyperaride de type saharien avec fortes températures et faibles précipitations.

Cette région présente un hiver froid et un été chaud.

I- Introduction :

La vallée du souf, regroupe un certain nombre d'oasis au sein du Grand Erg oriental, et comme dans la plupart des oasis du Sahara septentrional, les seules ressources hydriques disponibles pour l'irrigation, sont les nappes souterraines. Celles de la région du Souf, sont contenues dans des formations aquifères de natures différentes. A l'échelle régionale et du pays, les auteurs (*Baba SY, 2005 ; BRL-BNEDER, 1992 ; Cornet, 1961; Castany, 1982 ; UNESCO, 1972a*) distinguent généralement deux ensembles géologiques qui contiennent les ressources en eau souterraine d'épaisseur et de caractéristiques hydrogéologiques variables.

II- cadre hydrogéologie générale :

La nappe phréatique du Souf, contenue dans le réservoir sableux superficiel Quaternaire, représente la principale ressource hydrique pour l'irrigation des palmeraies. Elle est exploitée par des puits traditionnels au nombre de 10 000 puits selon l'enquête effectuée en 1993 par l'A.N.R.H, de Ouargla. Dans le Sahara Septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du Continental Intercalaire (C.I) et celle de Complexe Terminale (C.T) (**fig .16**)

II-1- la nappe phréatique :

La nappe phréatique partout dans le Souf, repose sur le plancher argilo gypseux du Pontien supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau de la surface du sol, ne dépasse pas une profondeur moyenne de plus de 40 m de sable non aquifère (Voisin A.R, 2004). L'alimentation de la nappe phréatique dans la zone d'étude est assurée par l'infiltration des eaux de forages profonds (CT et CI) et par les rares et faibles précipitations typiquement sahariennes.

Les études passées montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe libre suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est-à-dire du Sud vers le Nord L'aquifère quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 m. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 m de profondeur à l'extrémité Nord-est de la région d'étude.

Cette nappe a engendré un problème néfaste pour l'environnement dans certaines zones de la vallée. La nappe monte dans les zones de recharge, sous les agglomérations et baisse dans les zones irriguées à partir de la nappe phréatique.

II-2- la nappe de complexe terminal :

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène Inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m. En 2001, elle est exploitée par 83 forages dans la zone d'étude, 70 pour l'AEP, 12 pour l'irrigation et 1 mixte (irrigation et AEP). Le débit total moyen mesuré en 2002 est de 3'200 m³/h (0,9 m³/s). Selon une étude récente les prélèvements étaient de 16,3 m³/s pour le territoire algérien en 1998.

Le niveau piézométrique est en baisse générale.

Cette baisse deviendrait catastrophique dans une trentaine d'années dans les zones les plus exploitées où elle pourrait dépasser 200 mètres d'après une simulation de la même étude .

II-3- la nappe du continentale intercalaire:

Le terme "C.I", correspond ainsi aux formations continentales du crétacé inférieur, ne peut être que la période Continentale Intercalée entre deux cycles sédimentaires : La régression marine suivit d'une transgression du crétacé supérieur.

Le Continental Intercalaire (C.I) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. Le réservoir aquifère du Continental Intercalaire est considérable du à son extension (surplus de 600000 Km²) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. L'intérêt majeur de ce système aquifère et qu'il est constitué par de grandes quantités d'eau, qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du quaternaire et peuvent être maintenant exploitées, il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisée par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoires, l'épaisseur totale du réservoir dépasse 250 mètres dans les plus grands partis du Sahara Septentrional. Elle atteint 1000 mètres au Nord-Ouest. Le C.I affleure dans la partie Sud et Sud-Ouest par contre il plonge vers le Nord-Est.

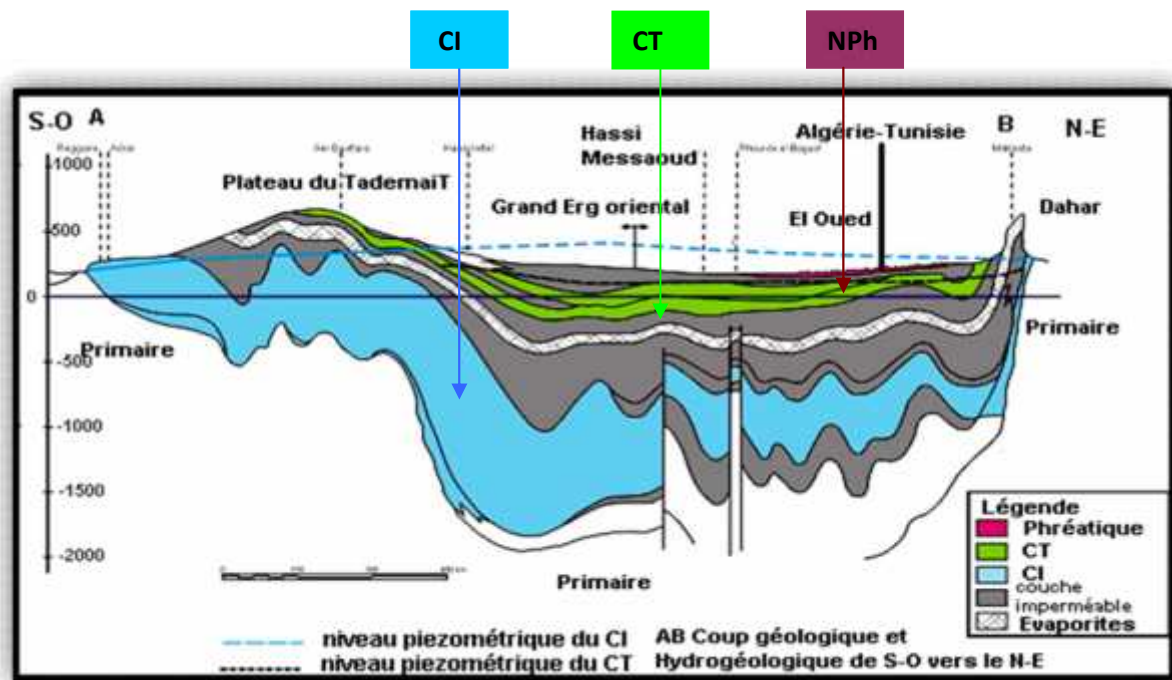


Fig.N° 16 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).

III-Litho stratigraphie des nappes d'El-Oued:

Les coupes des sondages profonds réalisées dans la région, montrent que les nappes aquifères d'el-oued, composées des formations suivantes;

III-1- Nappe phréatique : D'âge Quaternaire, cette nappe est constituée de sable, sable argileux, argile sableuse, avec des intercalations de gypse et des lentilles argileux d'âge quaternaire et miopliocène. Le substratum est argileux.

III-2- la nappe de complexe terminal :

a) Les nappes de Sable : est essentiellement constitué de sable, sable argileux, avec des intercalations de gypse et de calcaire. Le toit est argileux et le mur est constitué d'argiles lagunaires et de marnes d'âge Eocène moyen correspondant au toit de la nappe des calcaires.

b) La nappe des calcaires est constituée de calcaires à silex :

au niveau supérieur d'âge Eocène inférieur et de calcaires gypseux au niveau inférieur d'âge sénonien carbonaté. Sa limite supérieure rencontre l'Eocène moyen qui est formé par des argiles lagunaires et des marnes, tandis que sa limite inférieure rentre en contact avec le Sénonien lagunaire, constitué d'évaporites et d'argile.

III-3- la nappe du continentale intercalaire :

La nappe du continental intercalaire représente le plus important aquifère dans le Sahara septentrional. Elle est constituée par des sables et des grès d'âge Crétacé inférieur. Cette nappe est confinée entre un toit, constituée par une épaisse couche d'argiles et de marnes d'âge Cénomaniens; alors que le mur est constitué d'argiles, lui conférant caractère captif

Nature hydrogéologique		Nature lithologique	Étage		Ère
Niveau perméable	Nappe Phréatique	Sables	Quaternaire		
Niveau Imperméable		Argiles			
nappe des sables	Complexe Terminal	Sables	Pliocène		Tertiaire
Semi – perméable		Argiles gypseuses			
nappes des sables		Sables grossiers, graviers	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen	Éocène	
Nappe des calcaires (perméables)		Calcaire fissuré	Inférieur		
			Sénonien carbonaté	Crétacé	
Semi-perméable	Nappe Continental Intercalaire	Évaporites, argiles	Sénonien lagunaire		
Niveau imperméable		Argiles, marne	Cénomaniens		
Niveau perméable		Sables et Grés	Albien		
Semi-perméable		calcaire, marne	Aptien		
Niveau perméable		calcaire, sable	Barrémien		

(D.W.H., 2004)

Tab.N°07: Log stratigraphique et l'hydrogéologie de forage Barrémien dans la région du Souf.

IV- Etude des coupes hydrogéologiques :

Il est difficile d'aborder en détail l'étude de toutes les nappes de la région de Souf. Pour cette raison, nous avons effectué 02 coupes hydrogéologiques pour visualiser la géométrie et la superposition des aquifères (**Fig.17**) et une coupe (**Fig.18**) confirme les informations rapportées par la géophysique.

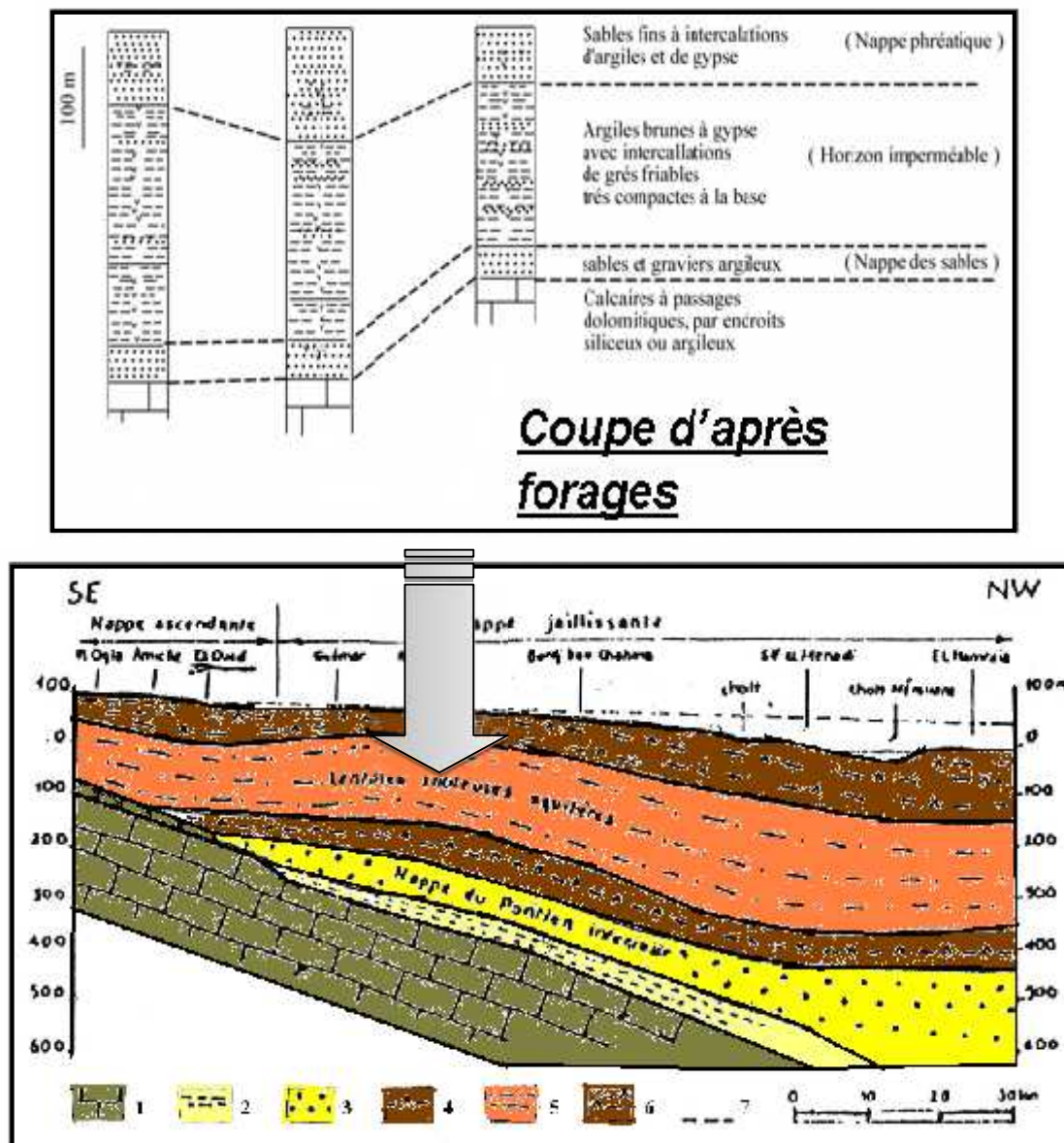


Fig.17: Coupe Hydrogéologique du Souf (A.N.R.H, 1989).

a) Nappe du complexe terminal (CT) :

Ce terme regroupe sous une même dénomination, un ensemble de nappes aquifères qui sont situés dans la formation géologique différentes. D'après CORNET 1964, nous rappelons l'existence des 03 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes de sables d'âge Miocène et Pontien, alors que la dernière à l'Eocène supérieur.

➤ Nappes des sables :

Au sein de ces niveaux sableux, vient s'engendrer deux nappes captives, dont la première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du « Sub-Souf ». Cette nappe constituée de sables grossiers et faisant partie du Complexe Terminal mène progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud aurésienne, dans la région d'étude elle se trouve à 280 mètre de profondeur. Il faut mentionner également l'existence d'une deuxième nappe de sables d'âge Pontien. Au-dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires en contact avec les marnes de l'Eocène Inférieurs et des graviers siliceux constituant donc une deuxième nappe captive en continuité avec la nappe du Pontien du Sud tunisien, la profondeur de cette nappe varie entre 400 et 450 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ. (D'après DHW : 2002).

➤ Les nappes de calcaires :

Le Complexe terminal possède une litho-stratigraphie plus complexe, les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux servant de repère pour la classification des eaux souterraines ; du Sud au Nord, nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux individualisé, parfois il est purement calcaire, quelque fois il est formé par des calcaires gypseux. Il correspond au niveau inférieur.

Le niveau supérieur, principalement représenté par des calcaires siliceux, est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble, ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses avec des passées d'argile rouge.

D'après les forages, profonds, captant cette nappe, nous remarquons que sa profondeur varie entre 500 et 800 mètres. Cette dernière n'est pratiquement pas exploitée dans la région de Souf.

b) Nappe du Continent Intercalaire (CI) :

Le terme « C.T. » correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé Inférieur cette période se situe entre deux cycles sédimentaires régit par une régression marine suivit d'une transgression du crétacé supérieur. Le Continent Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base Trias et le sommet de l'Albien. Le traitement manquant du réservoir aquifère du continental intercalaire est son volume considérable dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 Km², et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Bien que l'intérêt majeur de ce système aquifère soit constitué par les grandes quantités d'eaux qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du quaternaire et qui peuvent maintenant être exploitées ; il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisé par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoire. La puissance de l'ensemble des formations aquifères existantes dans la région (crétacé Inférieur, Miopliocène, Éocène et nappe phréatique) dépasse parfois 2000 mètres (DHW, 2002).

Lithologie :

- 1- calcaire de l'Eocène inférieure marin et de l'Eocène moyen évaporés.
- 2- argiles sableuses et marnes de la base du complexe terminal.
- 3- sables grossiers du Pontien inférieur.
- 4- argiles et gypses dominants.
- 5- argiles et sables dominants.
- 6- argiles, sables et gypses (les trois derniers étages appartiennent au Moi-pliocène).
- 7- niveau hydrostatique de la nappe du Pontien inférieur.

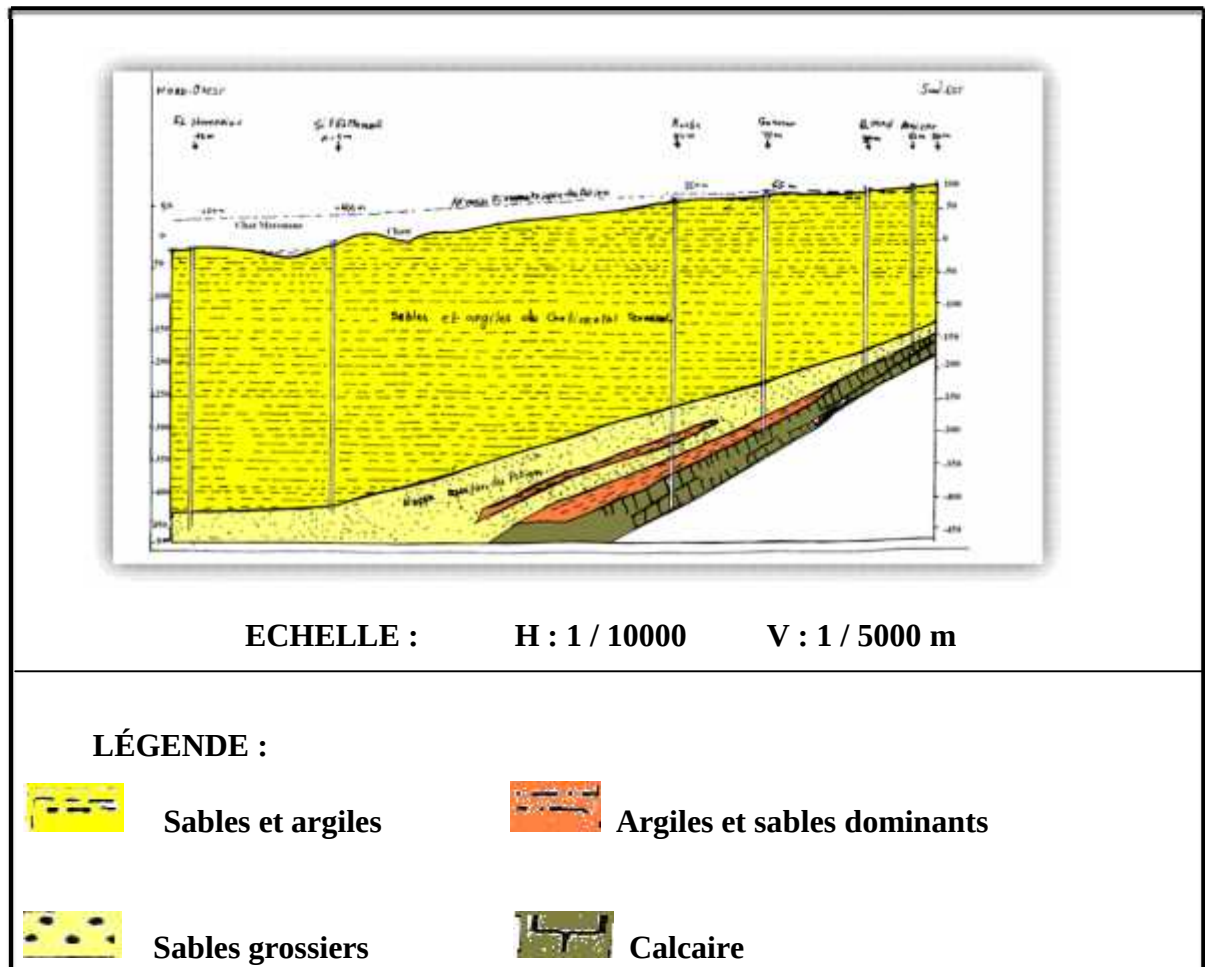
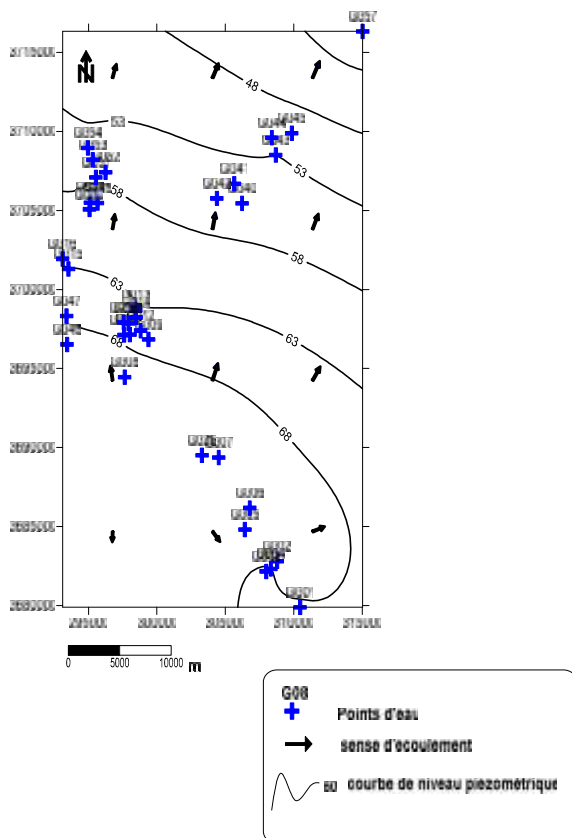


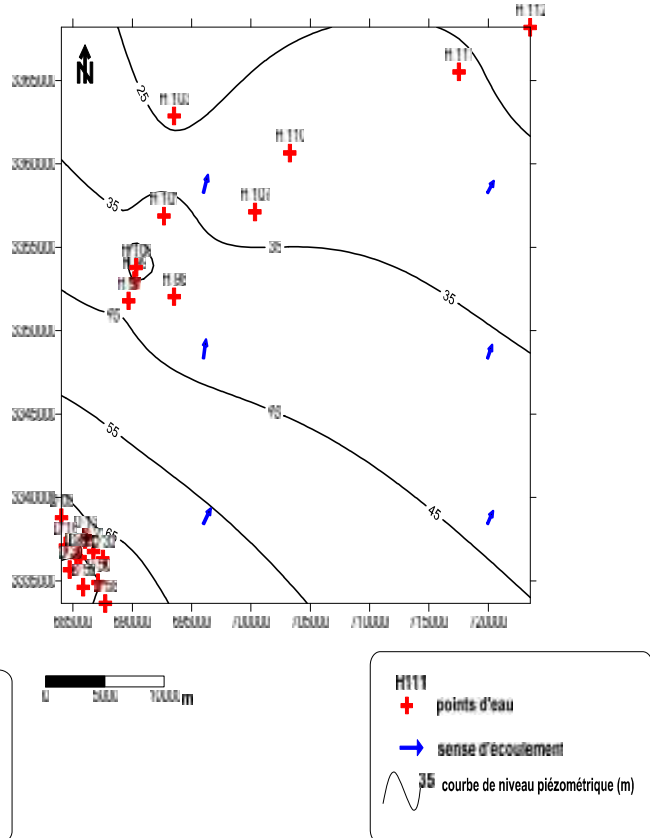
Fig.N°18 :Coupe Hydrogéologique d'El- Hamraia, El-Oued (A.N.R.H, 1989).

V-La piezométrie:

L'observation de la carte piézométrique (fig: 19) permet de dire qu'il y a un seul système hydrogéologique, parce qu'il n'y pas une ligne de partage des eaux souterraine, Le sens général d'écoulement des eaux souterraines est Sud-Ouest vers le Nord-Est.



**Fig.N°19 : Carte piézométrique
de la nappe phréatique 2002.**



**Fig.N°20 : Carte piézométrique
de la nappe phréatique 2012**

Les cartes au-dessus représentent la piézométrie haute eaux durant les périodes 2002 et 2012 de la région d'El oued. D'après ces cartes on observe que le sens d'écoulement des eaux souterraines de la région s'oriente vers le nord (vers les chotts).

VI-Conclusion:

Dans ce chapitre nous concluons que : L'étude hydrogéologique nous a permis de constater que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté suivant une direction générale SW-NE. Le diagnostic de la remontée des eaux visé a décrit les causes, les conséquences et les impacts de ce problème sur les différents secteurs, dont la principale cause générant ce problème est l'exploitation irrationnelle des nappes profondes (phréatique, CT, CI).

I- Introduction :

La composition chimique d'une eau est importante dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...Etc.).

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau que nous avons prélevés au niveau de la nappe libre du Souf autour de la zone des rejets où nous avons sélectionné 20 points d'eau pour la période 2009.

Ce choix a été justifié par leur répartition spatiale et les résultats d'analyses chimiques effectuées sur les échantillons d'eau de la nappe libre.

I-2-Détermination des faciès chimique :

Les analyses chimiques ont porté sur les éléments de : Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , Ca^{+2} , Na^+ , K^+ , ont été effectuées en différents points (Fig.) pendant la période Mars 2009.

1.2.1 Les faciès chimique sont:

- Faciès sulfaté sodique
- Faciès chlorure sodique
- Faciès sulfaté calcique
- Faciès chloruré calcique
- Faciès sulfaté magnésien

I.2.2- Diagramme de piper : le diagramme de piper montre deux ensembles de points l'un regroupe la majorité des points caractérisés par des eaux de type sulfatés calciques à chlorurés calciques. Par contre l'autre caractérisé par un faciès sulfaté sodique à chloruré sodique.

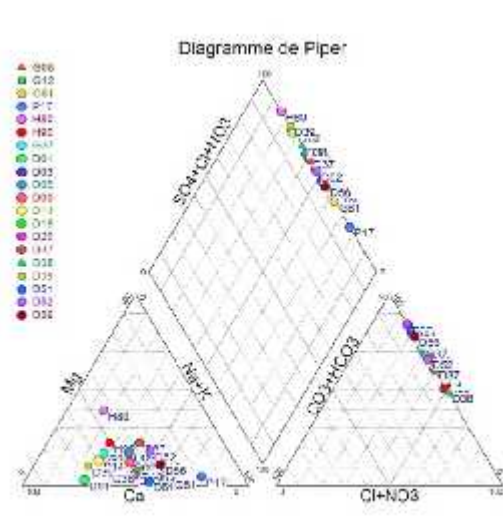


Fig. N°21 : Diagramme de piper de la nappe phréatique(2009) d'El-Oued.

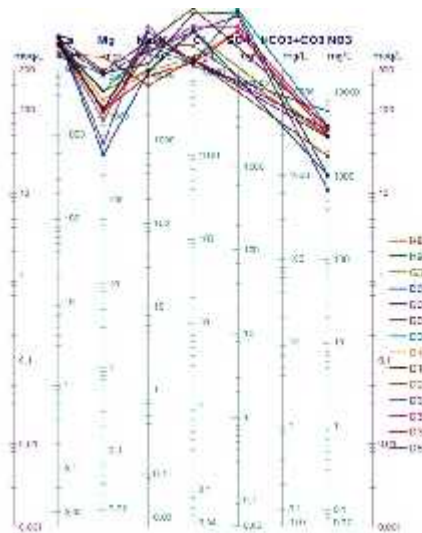


Fig N°22 : Diagramme de Scholer de la nappe phréatique(2009) d'El-Oued.

II- Cartographie hydrochimique :

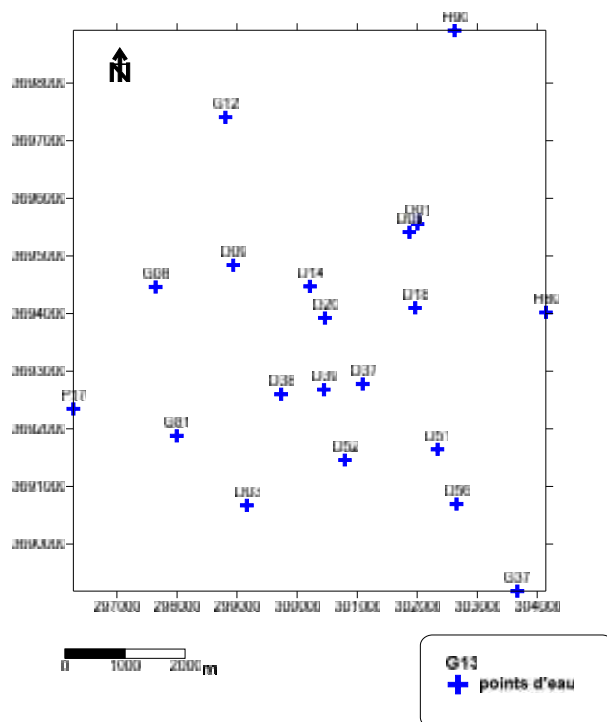


Fig. N° 23 : la carte de la répartition des points de prélèvements (2009) dans la région d'El-Oued

II-1-Carte de calcium : l'examen de la carte de calcium montre que les teneurs de calcium varient entre 220 mg/l (puits P17) à 770 mg/l (puits D38) ; ou les faibles teneurs observées dans la partie sud de la région variant entre 220 à 470 mg/l. dans la partie nord les valeurs dépassent 620 mg/l.

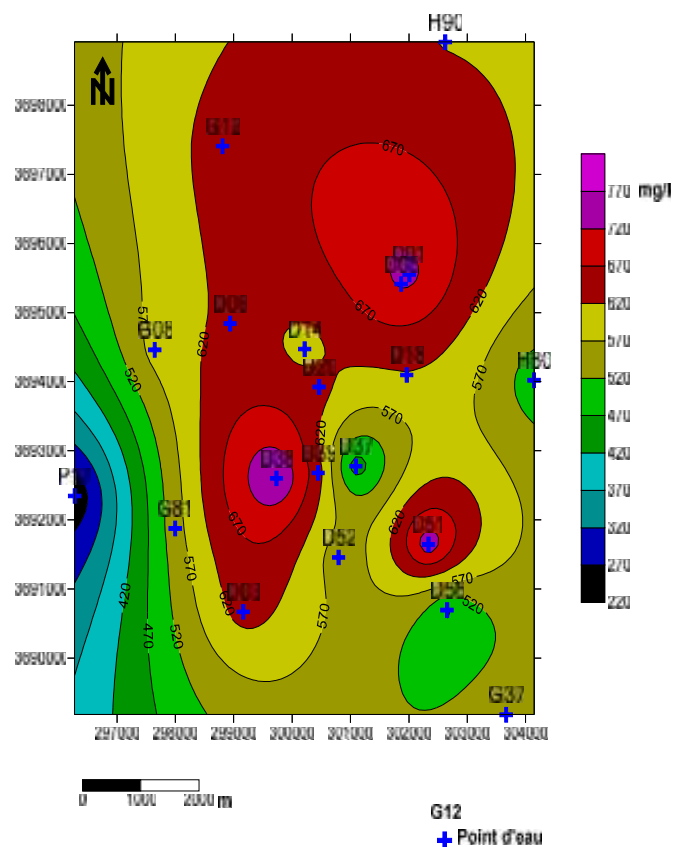


Fig. N°24 : Carte de variation des teneurs de Ca^{+2} en mg/l de la nappe libre d'El-Oued

II-2- Carte de magnésium : la carte du magnésium montre que les valeurs faibles s'observent au sud ; alors que les valeurs du secteur central varient entre 40 à 190 mg/l. dans la partie nord les concentrations en Mg dépassent 240 mg/l.

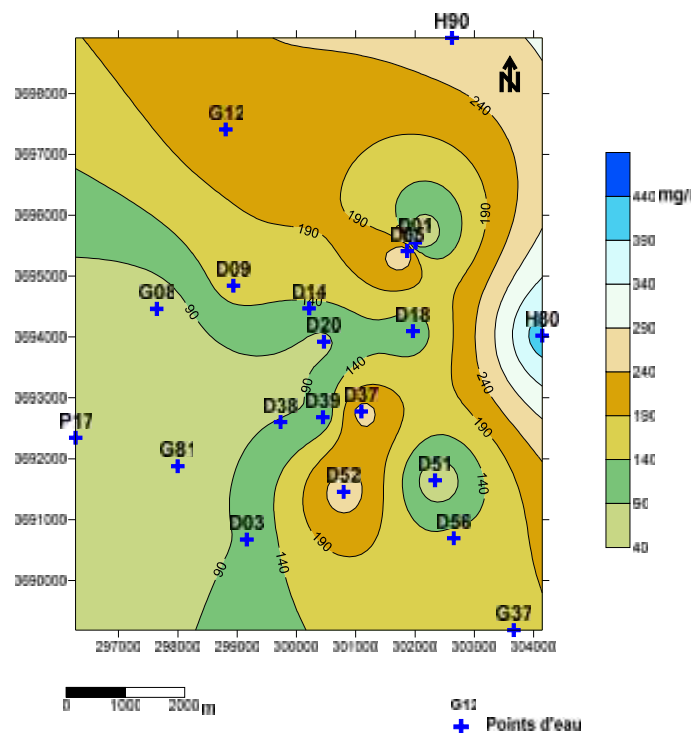


Fig. N°25 : Carte de variation des teneurs de Mg^{+2} en mg/l de la nappe libre d'El-Oued

II-3- Carte de Chlorures : la lecture de la carte fait ressortir 03 zones bien distinctes :

Dans la zone sud-ouest les concentrations sont relativement faibles 300-500 mg/l

Dans la zone centrale les valeurs sont inférieures à 1100 mg/l.

Dans la partie nord les teneurs sont élevées sont liaison directe avec le sens d'écoulement.

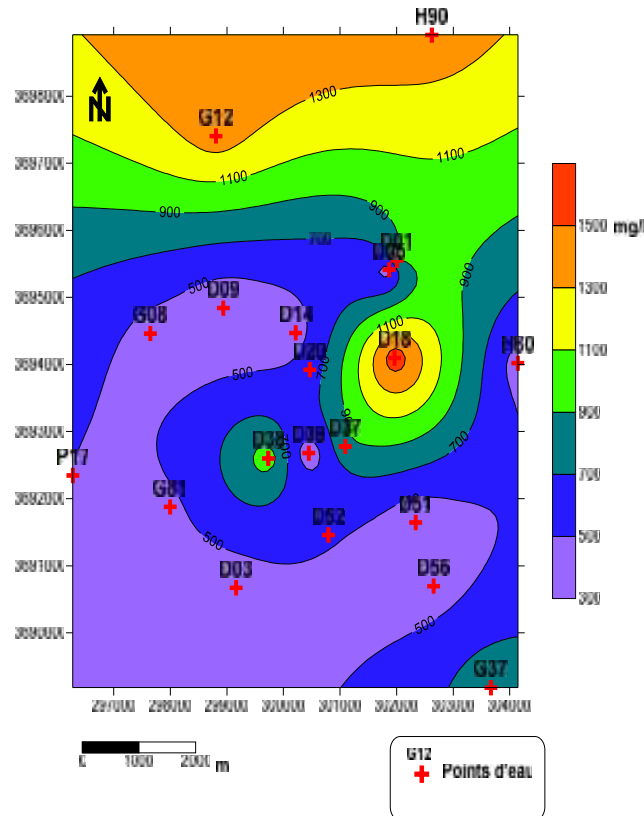


Fig. N°26 : Carte de variation des teneurs de Cl⁻ en mg/l de la nappe libre d'El-Oued

II-4- Carte de Sulfates : les résultats d'analyses chimiques donnent des valeurs variant entre 800 et 3200 mg/l.

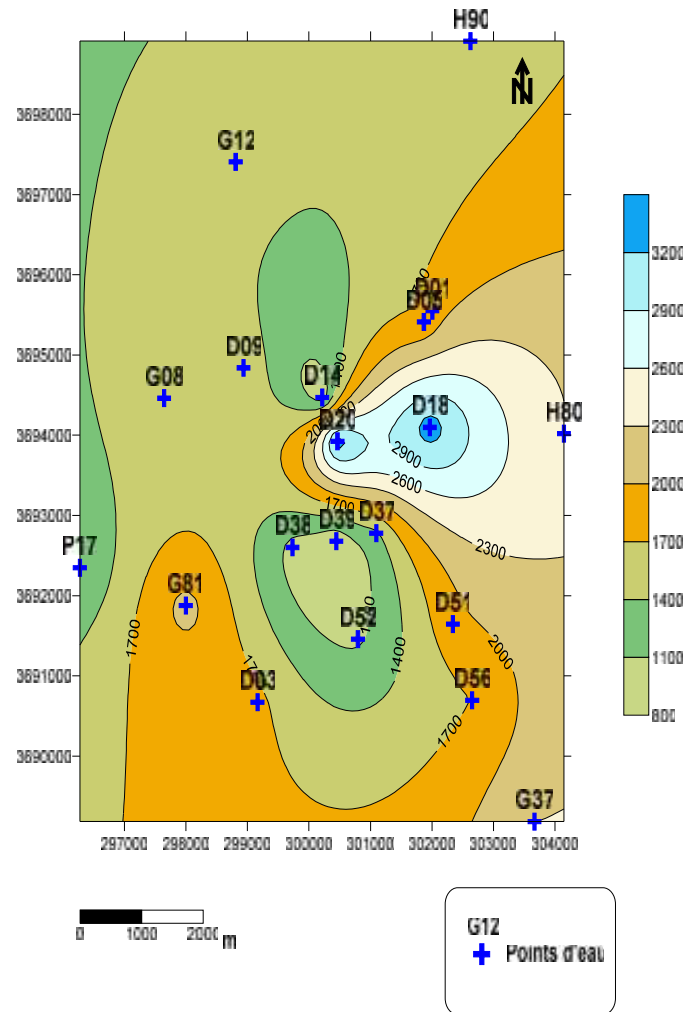


Fig. N°27 : Carte de variation des teneurs de SO_4^{2-} en mg/l de la nappe libre d'El-Oued

II-5- Carte de Sodium : la carte de sodium montre que les valeurs augmentent au Nord –est vers le sud –ouest.

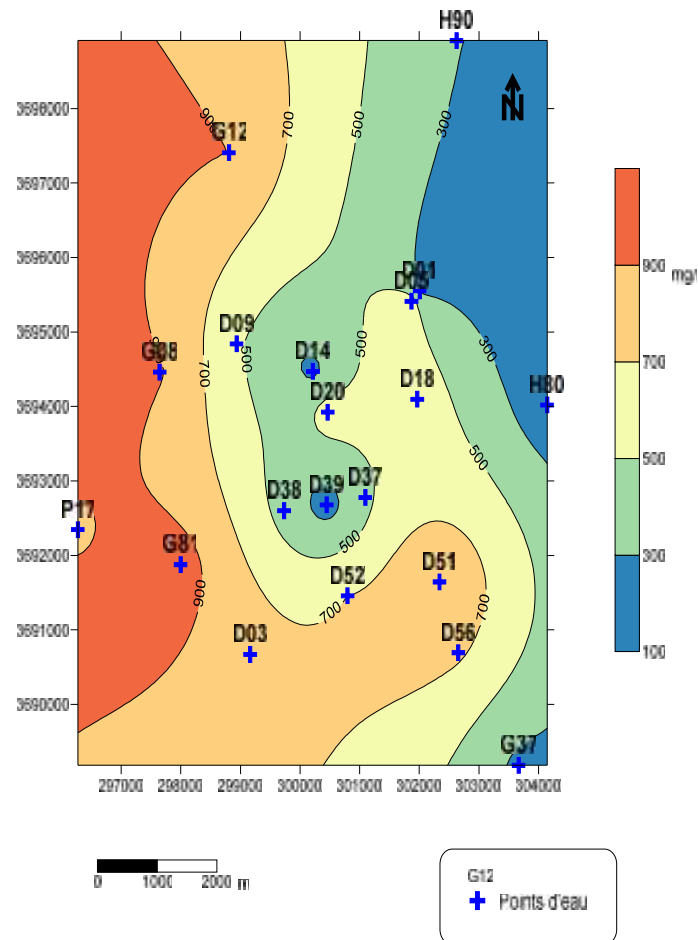


Fig. N°28 : Carte de variation des teneurs de Na^+ en mg/l de la nappe libre d'El-Oued

II-6- Carte de pH : l'examen de la carte de pH montre que les faibles valeurs s'observent au sud (puits G37) de la région par contre les valeurs élevées se situent au centre (puits G08) de la région.

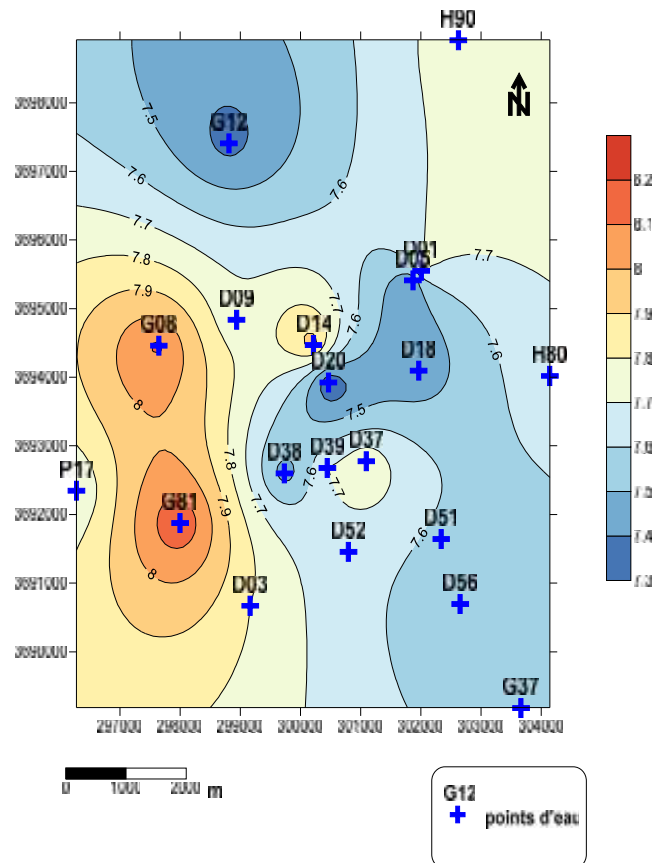
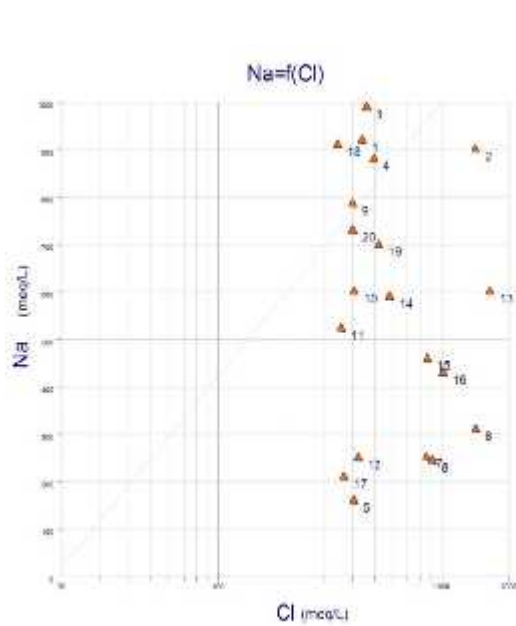
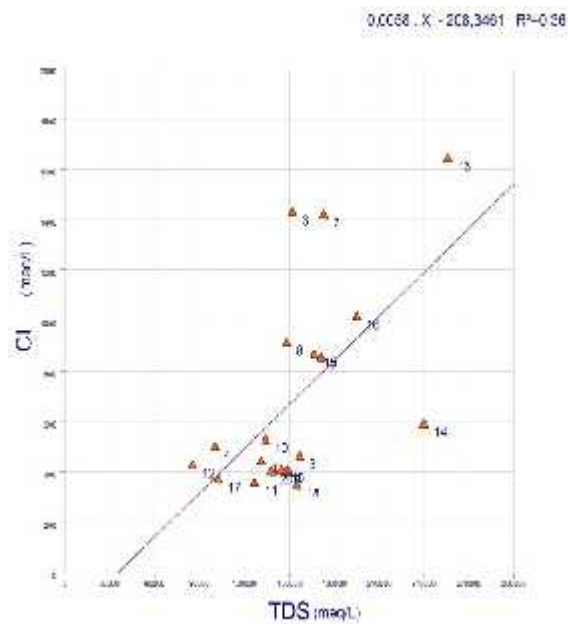
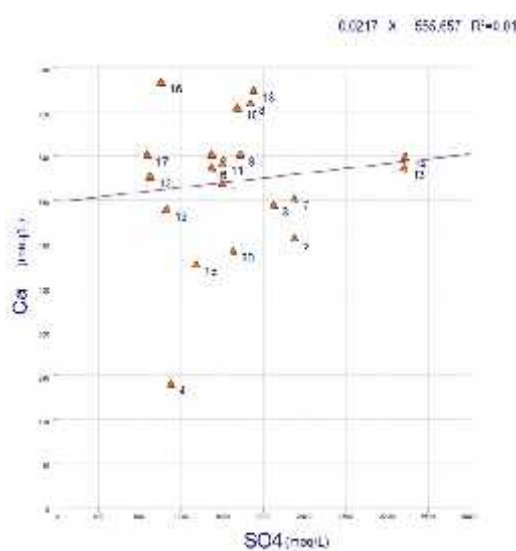
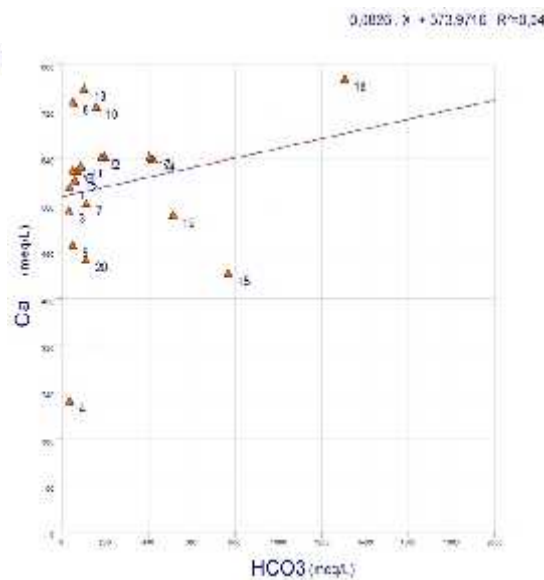


Fig. N°29 : Carte de variation des teneurs de pH en mg/l de la nappe libre d'El-Oued
III- Etudes les rapports caractéristiques et l'origine des éléments chimique :

III-1. Origine de Na : l'examen des fig permet que remarquer la majorité des points d'eau se trouvent au-dessous au diagramme. Dans ce cas c'est les chlorures qui l'emportent que le sodium à cause un excès de la dissolution de cet élément.

III-2. Origine de calcium : les figures montrent que l'ensemble des points d'eau se trouvent dans le domaine évaporitiques ce qui indique que l'élément de Ca^{+2} provient de la dissolution des formations évaporitiques.

Fig. N°30 : couple Na^+ et Cl^- (2009).Fig. N°31 : couple TDS et Cl^- (2009).Fig. N°32 : couple SO_4^{+2} et Ca^{+2} (2009).Fig. N°33 : couple HCO_3^- et Ca^{+2} (2009).

IV- Analyse des composants principaux (ACP) :

L'analyse en composantes principales (ACP), qui fait partie de la statistique descriptive est une méthode qui permet de synthétiser, de décrire et de classer les données pour en fournir un résumé. Elle permet d'évaluer l'importance relative de chaque élément dans la structure d'ensemble.

IV.1. Application de l'A.C.P aux données chimiques des eaux de la nappe libre de Oued Souf :

L'analyse effectuée est une A.C.P.C centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau de données à 9 variables (Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- , CE et PH) et à 20 échantillons prélevé aux niveau de trois compagnes (Mai 1995, Mars 1998 et Juin 2007).

L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel STATISTICA. Les résultats de cette A.C.P sont représentés en annexe....

IV.1.1. Matrice de corrélation :

Le tableau N°8 présent les différentes corrélations entre les variables deux à deux.

$\text{Na}^+ - \text{Mg}^{++}$: $r = 0.862$, $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$: $r = 0.985$, $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{--}$: $r = 0.809$, $\text{Mg}^{++} - \text{Cl}^-$: $r = 0.853$,

$\text{Mg}^{++} - \text{SO}_4^{--}$: $r = 0.750$.

	Na^+	Mg^{++}	Ca^{++}	K^+	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	NO_3^-	CE	PH
Na^+	1									
Mg^{++}	0,862	1								
Ca^{++}	0,097	0,405	1							
K^+	0,875	0,748	0,139	1						
Cl^-	0,985	0,853	0,087	0,878	1					
SO_4^{--}	0,809	0,749	0,175	0,632	0,75	1				
HCO_3^-	-0,03	0,158	0,562	0,156	0,011	0,287	1			
NO_3^-	0,204	0,309	0,174	0,071	0,212	0,22	0,149	1		
CE	-0,06	0,102	0,114	0,079	0,065	0,038	0,084	0,026	1	
PH	0,044	0,041	0,311	0,182	0,024	0,248	0,539	0,094	0,043	1

Tab. N°8 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques.

IV.2. Projection sur le plan I–II : montre l'existence de deux groupes (Figure.105 A, B) :

Le premier se développe sur l'axe I (43.63 % de la variance) il représente le pôle des évaporites avec une relation positive entre les Cl^- , Na^+ , Mg^{++} , K^+ , SO_4^{--}

La projection des individus montre que cet axe explique surtout les puits et les piézomètres (P36, P3 et H03).

Le deuxième se positionne sur l'axe II (21.46 % de la variance) il représente les valeurs élevées de PH (milieu basique), et la relation inverse entre les bicarbonates et le calcium. Cette relation apparaît au niveau de piézomètre P22.

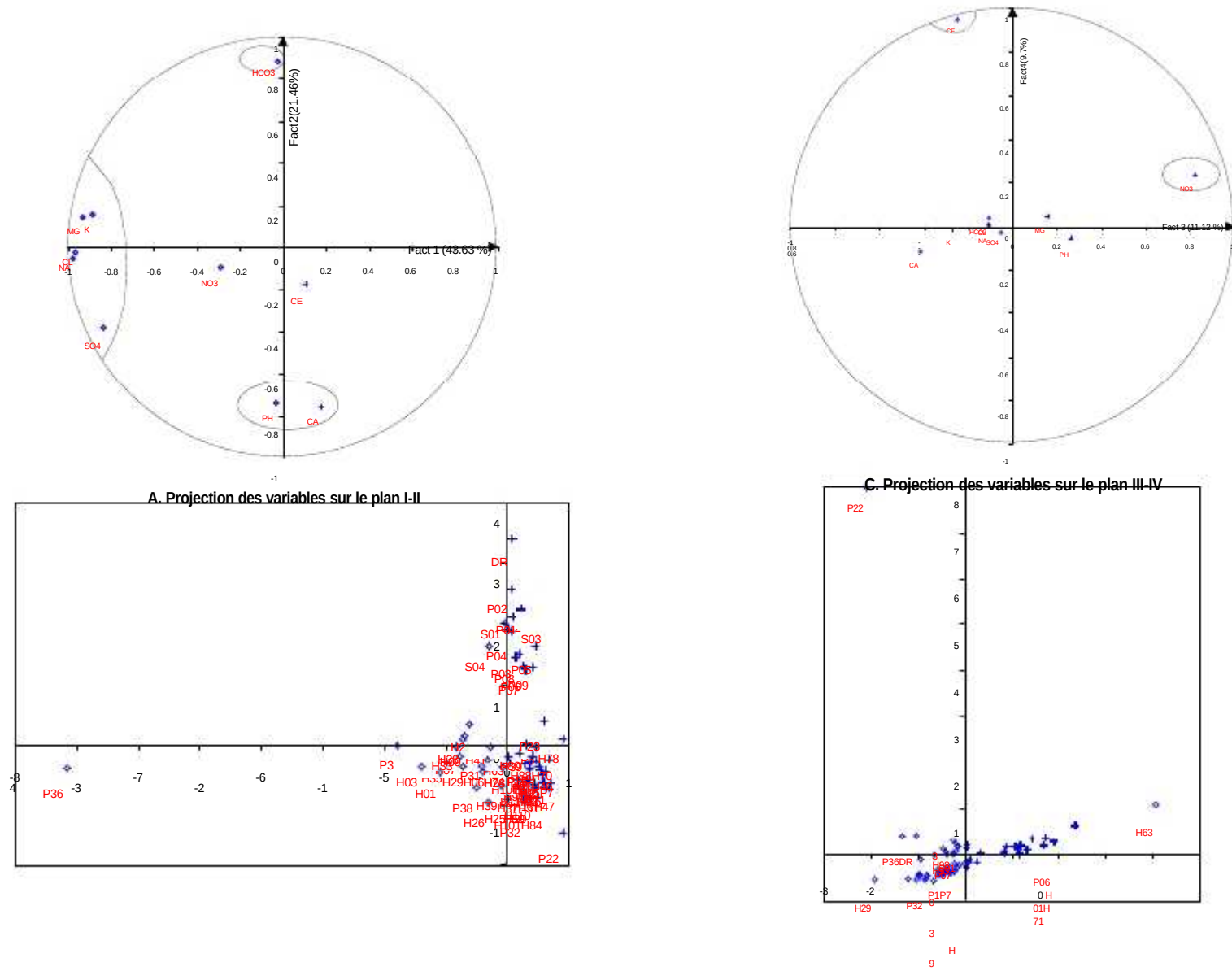
IV.3. Projection sur le plan III-IV : montre l'existence de deux groupes(Figure.105 C, D) :

Le premier groupe se présente sur l'axe III (11.12 % de la variance) il indique lapuits H63.

variation des nitrates. La projection des individus montre cette tendance vers le

Le deuxième groupe apparaît sur l'axe IV (9.7 % de la variance) il montre les fortes valeurs de la conductivité qui concerne le piézomètre P22 en relation avec le sens d'écoulement.

Chapitre VI.....Identification l'origine de la salinité des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued



B. Projection des individus sur le plan I-III-Projection des individus sur le plan III-IV

Fig.N°34 : ACP des analyses chimiques de la nappe phréatique de Oued Souf

V- Identification la salinité des eaux de la nappe libre d'El-Oued :

La salinité du sol est constituée par tous les sels de chlorures de sodium et des sulfates de magnésium, par conséquent la salinité potentielle (S_p) pourrait être estimée par :

$$SP = Cl^- + 1/2 SO_4^{-2} \dots\dots\dots 1$$

Pour mieux connaître l'aptitude des eaux à l'irrigation, on a calculé la quantité de sodium adsorbé (SAR) par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{(Mg^{++} + Ca^{++})^{1/2}} \dots\dots\dots 2$$

Le pourcentage en sodium est donné par :

$$Na (\%) = 100 \times Na^+ + K^+ / Ca + Mg + Na + K \dots 3$$

V-1- L'aptitude des eaux à l'irrigation :

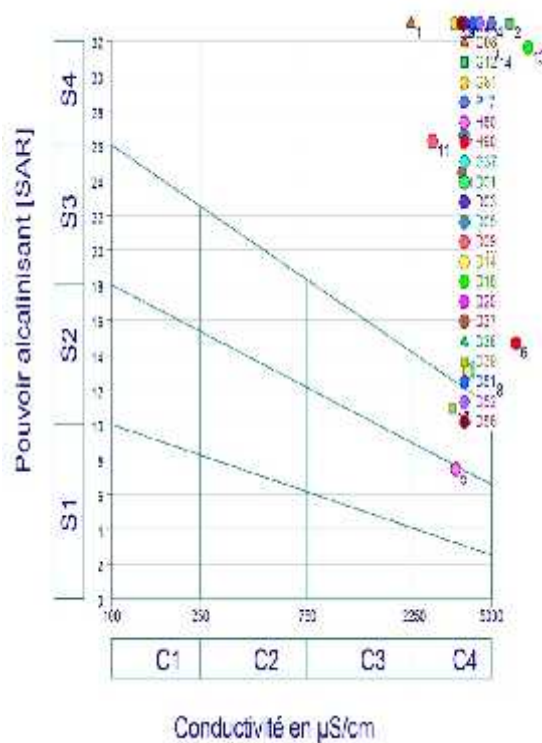


Fig. N° 35: Diagrammes de Richards (1954) Périodes 2009.

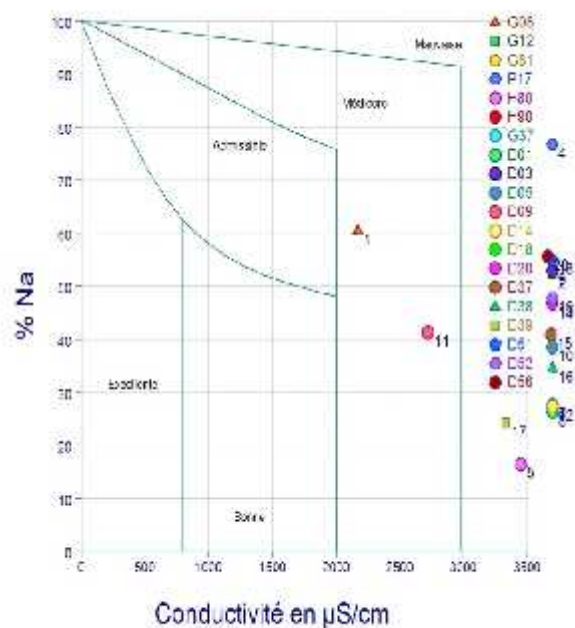


Fig. N°36 : Diagrammes de Wilcox (1948) Périodes 2009.

On observe que la majorité des eaux se situent dans la classe C4-S2, C4-S3 qui définit une eau de salinité très élevée (C4) qui ne convient pas à l'irrigation en conditions ordinaires.

V-2- Carte de conductivité électrique : d'après la carte (fig N°37) les valeurs conductivités électriques Croissent dus vers le nord à des valeurs élevées qui varient de 2000us/cm à 7000us/cm.

Dans la partie sud les valeurs varient de 2000us/cm à 3600us/cm

Dans la partie centrale de région d'étude les valeurs varient de 3600us/cm à 6000us/cm.

Dans la partie nord les valeurs dépassent 6800us/cm.

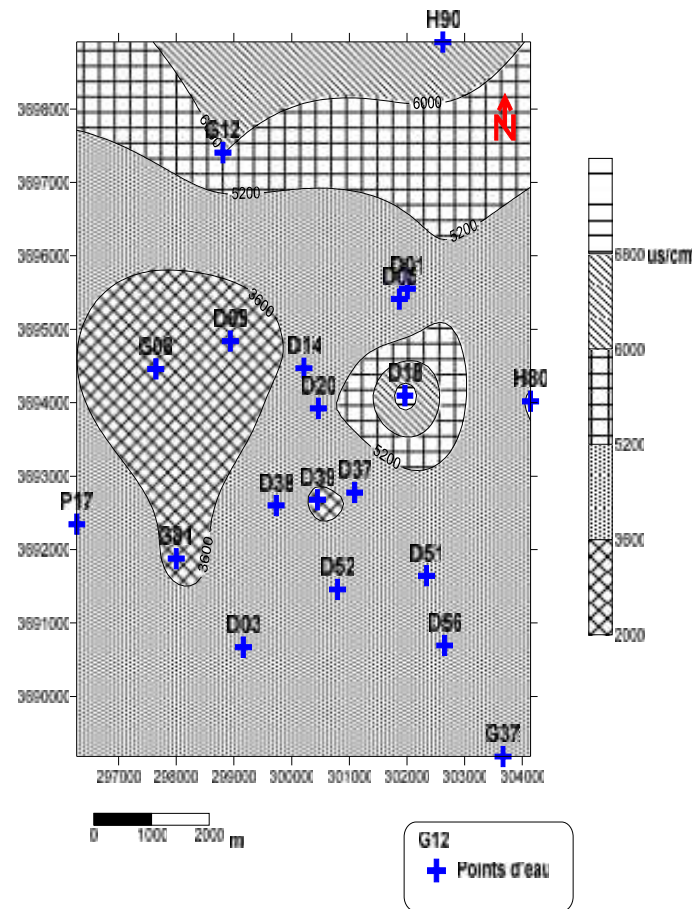


Fig. N°37 : Carte de variation des teneurs de conductivité électrique de la nappe phréatique d'El-oued (2009)

V-3- Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Richard :

d'après les cartes (fig. n°38 , fig. n°39) on observe que les valeurs les plus élevées se situent dans la partie sud-ouest et nord-ouest de la région d'étude par contre les valeurs moyennes et faibles sont remarquées au sud –est et au centre plaine d'El-Oued.

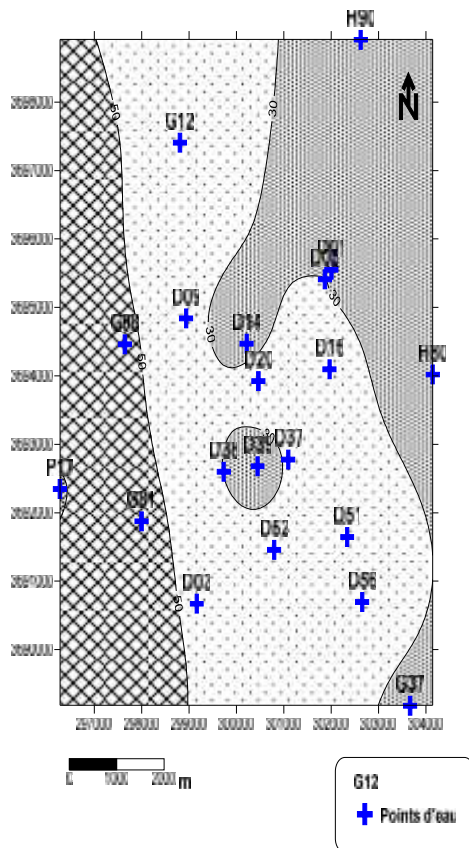


Fig. N°38 : Carte de Na% de la nappe
hréatique d'El-oued (2009).

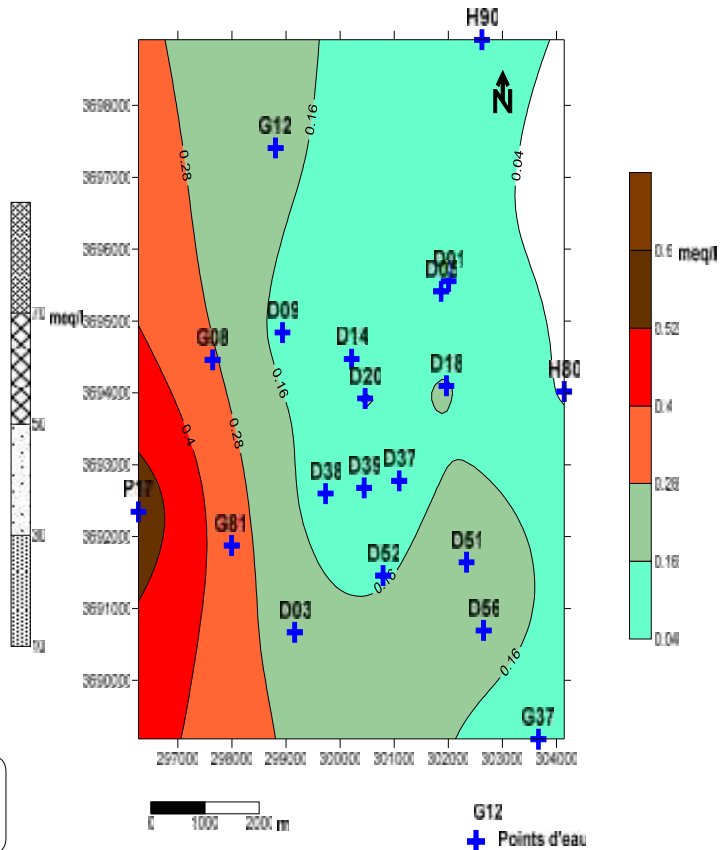


Fig. N°39 : Carte de zonation par SAR de la
nappe phréatique d'El-oued (2009).

V-4 : La salinité : La carte fait ressortir deux catégories d'eaux :

Les eaux de qualité médiocre se localisent au sud et au centre du terrain. Les eaux à mauvaise qualité occupent la plupart du terrain.

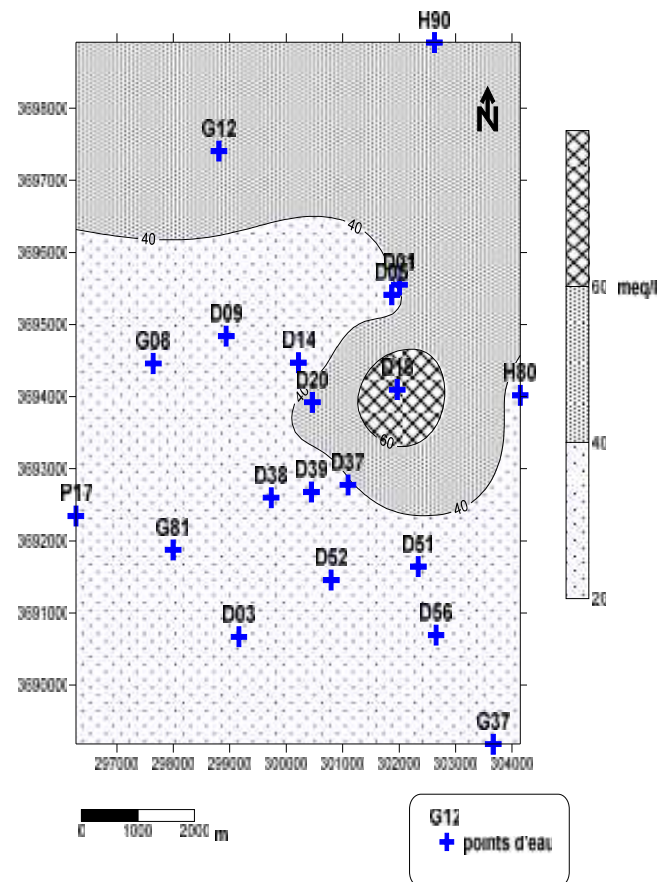


Fig. N°40 : Carte de salinité de la nappe phréatique d'El-oued (2009).

VI - La pollution des eaux de la nappe libre d'El-Oued :

D'après les cartes de nitrates et nitrites on remarque que les concentrations de ces éléments dépassent les normes de l'O.M.S, dans un endroit les valeurs de nitrates dépassent 180 mg/l. Les valeurs faibles sont enregistrées au nord de la région d'étude (G12, H90) puis elles augmentent vers le centre et le sud de la plaine d'El-Oued avec un maximum de 180 mg/l.

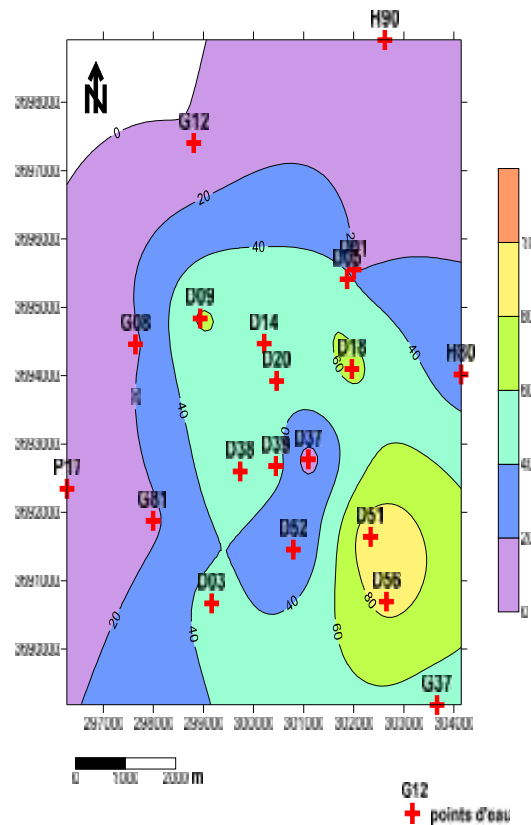


Fig. N°41 : Carte de variation des teneurs NO_3^- de la nappe phréatique d'El-oued (2009).

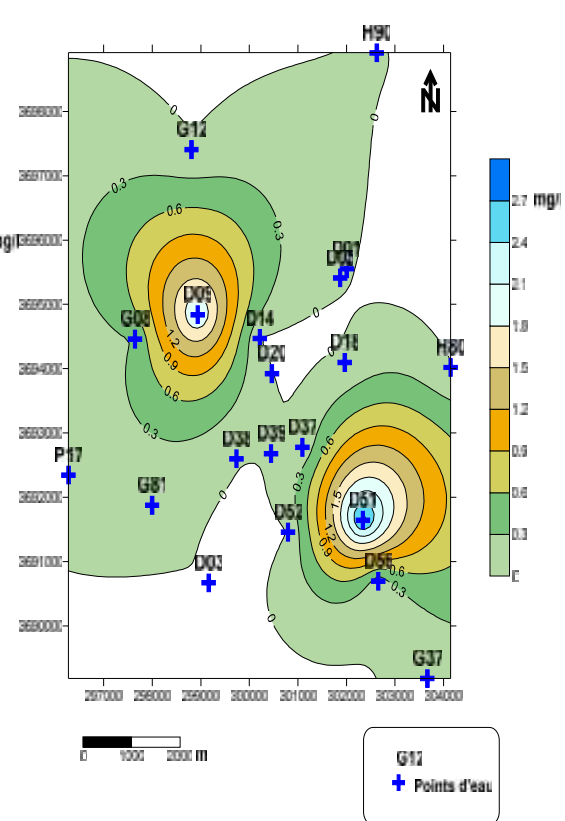


Fig. N°42 : Carte de variation des teneurs de NO_2^- de la nappe phréatique d'El-oued (2009).

VII -Conclusion : L'étude hydrochimique de la région montre la prédominance des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , HCO_3^- et Ca^{2+}) et des faciès sulfaté sodique, chlorure sodique, sulfaté calcique, chloruré calcique et faciès sulfaté magnésien.

L'origine de la salinité des eaux est due principalement à la dissolution des formations gypso-salifères d'âge triasique.

La majorité des points d'eau présente une mauvaise qualité d'eau pour l'irrigation et pour l'alimentation en eau potable à cause de leur salinité et résidu sec très élevé.

Ce chimisme est lié à la nature lithologique de l'aquifère par la dissolution des formations géologiques perméables. Il s'agit des formations évaporitiques et carbonatées.

Conclusion générale :

La région du Souf fait partie du Sahara septentrionale ; est caractérisé par une activité économique basée principalement par le commerce et la culture de palmiers dattiers, et dernièrement la pomme de terre.

La région est caractérisée par un climat saharien avec un été très chaud et un hiver relativement froid avec une pluviométrie très faible de l'ordre de 70 mm

L'analyse lithostratigraphique montre que le système hydrogéologique de la région est composé de trois nappes aquifère la première correspondant le continental intercalaire, la deuxième est représenté par le complexe terminal et la dernière et qui correspond la nappe libre.

La piézométrie montre un sens d'écoulement général Sud-Nord vers les chotts.

La chimie des eaux de la nappe libre d'Oued Souf possèdent des valeurs élevées de conductivité, due à l'existence de certains éléments chimiques à concentration élevée (Ca^{+2} , Cl^- , Na^+ , SO_4^{-2}) ce qui rend les eaux de la nappe impropre à l'irrigation.

Cette exée est dû d'une part à la dissolution des formations géologique (formation salifères, formation évaporitiques) et d'autre part à la forte évaporation des eaux surtout dans les Ghouts.

La concentration des nitrates est au-dessus de les normes de l'OMS pour l'eau de besoin, elle présente un danger pour la santé humain.

Bibliographie

- [1] **AYA. B:** Mini projet de fin d'étude Réalisation d'un forage d'eau à la région d'El-Oued (2012) Université Hadj Lakhdar Batna.
- [2] **A.N.R.H:** Coupe Hydrogéologique du Souf (1989)
- [3] **A.N.R.H:** La litho stratigraphique du forage F1 à l'Albien (1993)
- [4] **A.N.R.H:** Coupe Hydrogéologique d'El- Hamraia, El-Oued (1989)
- [5] **DHW:** Répartition de la population du logement de la Wilaya d' El Oued par
- [6] **DHW:** Log stratigraphique et l'hydrogéologie de forage Barrémien dans la région du Souf (2004).
- [7] **DHW:** inventaire des puits 2010 wilaya d'el oued
- [8] **DHW:** Enquête sur les exploitations et les besoins en AEP dans la wilaya d'El-Oued.
- [9] **DHW:** Etat du réseau d'assainissement existant arrêté au (2012)
- [10] **UNESCO:** Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (1972)
- [11] **ZAIR.N (2007) :** Détermination des paramètres hydrodynamique de la nappe phréatique de la région d'El-Oued.
- Mémoire de l'ingénieria université Badji Mokhtar Annaba.
- [13] **DPSB:** Répartition de la population du logement de la Wilaya d' El Oued
- [14] **DROUCHE Abdelmalek(2007) :** Mémoire de Magister université Badji Mokhtar Annaba.
- [15] **Bousbia Brahim. A ; 2002 :** Approche hydrodynamique et hydrogéologique de la nappe libre de l'Oued Souf et définition de problème de la remontée des eaux ; Mémoire d'ingénieria université Badji Mokhtar Annaba,110p.
- [16] **HPO – BONNARD ET GARDELL ; 2001 :** rapport de la première campagne des mesures hydrogéologique dans la nappe phréatique du souf.

[17] HPO – BONNARD ET GARDELL ; 2001 : rapport de la deuxième campagne des mesures hydrogéologique dans la nappe phréatique du souf.

[18] HPO – BONNARD ET GARDELL ; 2001 : rapport de la troisième campagne des mesures hydrogéologique dans la nappe phréatique du souf.

[19] KHADHRAOUI . A ; 1998 : contribution à l'étude de la remontée des eaux de la nappe phréatique du souf.

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE: Algérienne Des Eaux

AEA: Alimentation en Eau d'Agriculture.

AEI : Alimentation en Eau d'Industrie..

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques

CI: Continental Intercalaire

CT: Complexe Terminal

DEM: Direction de L'Energie et des Mines.

DSA : Direction des Services Agricoles.

ONA: Office National d'Assainissement.

ONM : Office National Météorologique.

STEP: Station d'Epuration.

DPSB: Direction de programmation et suivi billon.

OMS: Organization mondial des santé.

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization