

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'El-Oued

Faculté des sciences et technologie

Département des sciences et technologie

Filière d'hydraulique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme Master en Hydraulique

Option: *Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement*

THEME

**Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'El-Oued
(Sud-Est Algérien)**

Dirigé/encadré par:

ZAIR NADJET

Réalisé/Présenté par :

MIMOUN SALIHA

ZOUBEIDI BASMA

Promotion 2014

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre I :Présentation de la région étude	
I. Historique et situation géographique.....	3
II. Topographie.....	3
III. Géologie de la région d'étude.....	5
III.1. Introduction	5
III.2. Stratigraphie régionale	6
III.2.1. Formation de l'ère Secondaire	6
III.2.2. Formations de l'ère Tertiaire	8
III.2.3. Formations du Quaternaire	9
III.3. Géomorphologie	10
III.3.1. Tercha	11
III.3.2. Louss.....	11
III.3.3. Salsala ou Smida	11
III.3.4. Tefza	11
III.4. Interpretation des coures	11
III.5.Tectonique	14
III.6. Relief.....	15
IV.Concluion.....	15
Chapitre II. Hydro climatologie	
I. Introduction.....	18
I.1. climatologie	18
I.1.1.Climat de la région.....	18
I.1.2.Etude des paramètres hydro climatologiques.....	18
a. La température.....	18
b.la pluviométrie	19
b.1.étude des précipitations	19
C.L' Humidité.....	21
d. L'Evaporation.....	22
e. <i>Indice d'aridité</i>	23
III. Bilan Hydrique.....	24
III.1. L'évapotranspiration	24
III.2.Formule de THORNTHWAITE	25

II. Conclusion.....	26
Chapitre III :hydrogéologie	
I. Introduction.....	27
II. Inventaire des forages.....	27
III. Cadre hydrogéologique.....	28
III.1. Nappe Phréatique	29
III.2.Nappe du Complexe Terminal	30
a- Nappes des sables.....	30
b- Les nappes de calcaires	31
III.3.Nappe du Continent Intercalaire (CI)	31
IV. Aperçu historique.....	32
V. Piézométrie.....	34
V.1. Interprétation de la carte piézométrique (2010)	35
V.2. Interprétation de la carte piézométrique (2013).....	36
IV. Paramètres hydrodynamiques	36
IV.1.Introduction.....	36
IV.2. Coordonnées UTM des sites des essais par pompage	37
IV.3. Essai de pompage à El-Oued centre.....	37
IV.3.1. Introduction.....	38
IV.3.2. Détermination de débit spécifique	38
IV.3.3. Interprétation de l'essai de longue durée.....	38
IV.4. Essai de pompage à Ain raach.....	38
IV.4.1. Introduction	38
IV.4. 2. Détermination de débit spécifique	38
IV.4.3. Interprétation de l'essai de longue durée	39
IV.5.Essai de pompage à Nakhla gharbiya.....	39
IV.5.1. Introduction.....	39
IV.5.2.Détermination de débit spécifique.....	39
IV.5.3.Interprétation de l'essai de longue durée.....	40
IV.6.Essai de pompage à Blila.....	40
IV.6.1.Introduction.....	40
IV.6.2.Détermination de débit spécifique.....	40
IV6.3.Interprétation de l'essai de longue durée.....	41

IV.7.Essai de pompage à Ourmes.....	41
IV.7.1.Introduction.....	41
IV.7.2.Détermination de débit spécifique.....	41
IV.7.3.Interprétation de l'essai de longue durée.....	42
VI. Conclusion.....	43
Chapitre IV :hydrochimie.	
I.Introduction	44
II. Cartographie hydrochimique	44
III. Paramètres physico-chimiques.....	45
III.1. Paramètres physiques	45
III .1.1. Température	45
III.1.2.Potentiel d'hydrogène (pH)	45
III.1.3. La conductivité électrique	46
III.2.Les éléments chimiques	47
III.2.1.Les Cations	47
III.2.1.1.Le Calcium (Ca^{++}).....	47
III.2.1.2.Le Magnésium (Mg^{++}).....	48
III.2.1.3.Le sodium et potassium ($\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$).....	49
III.2.2. Les Anions	50
III.2.2.1. Les Chlorures (Cl^{-}).....	50
III.2.2.2.Les Sulfates (SO_4^{-}).....	51
III.2.2.3.Les Bicarbonates (HCO_3^{-})	52
IV. Caractéristiques chimiques des eaux	53
IV.1.Diagramme de PIPER.....	53
IV .2. Diagramme de Diagramme Schoeler Berkaloff	55
IV.3.Répartition des faciès chimiques.....	57
V. Etudes les rapports caractéristiques et l'origine des éléments chimique	58
V. 1. Origine de sodium	58
V. 2. Origine de calcium	58
V. 3. Le couple Na^{+} - Cl^{-}	58
V.4. Le couple Ca^{++} - SO_4^{2-}	59
V.5. La relation Na^{+} - SO_4^{-}	60
V.6. La relation Ca^{++} - Mg^{++}	61
V.7. L'échange de base	62

V.8. Le couple Ca^{2+} - HCO_3	63
V.9. Le couple Ca^{+2} -(HCO_3^- + SO_4^{2-})	64
VI. La pollution des eaux de la nappe CT d'El-Oued	65
VI.1. Identification la salinité des eaux de la nappe CT d'El-Oued	65
VI.2. Carte d'aptitude des eaux de nappe CT selon le diagramme de Richard.....	65
VI.3. La salinité	67
VI.4. Polluant NO_3^-	67
V. Conclusion	68
Chapitre V :Vulnérabilité de la nappe.	
I. Introduction	70
I.1.Méthodes des systèmes paramétriques	70
I.1.1.Le système matriciel	70
I.1.2. Le système de classe	70
I.1.3.Le système de classes pondérées	70
I.1.4.Méthodes de comparaison	70
I.1.5.Méthodes des relations analogiques et modèles numériques	70
II. Application de la méthode GOD (Foster 1987)	71
II.1. Présentation de la méthode	71
II.2. Préparation des données	72
II.3. Digitalisation.....	72
II.4 Profondeur de la nappe	72
II.5. Type de nappe(IA)	74
II.6 : Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (lithologie de la zone non saturée ZNS)	75
II.7. Carte de synthèse.....	76
III. Application de la méthode REHSE	78
III.1. Présentation de la méthode :(REHSE 1977).....	78
III.2. Évaluation des paramètres R'/R , $C'p/Cp$ et T	78
III.2.1. L'évaluation du degré de recharge (R'/R)	78
III.2.2. L'évaluation le degré d'épuration $C'p/Cp$	79
III.2.3. L'évaluation le temps de transit T	79
III.3.Préparation des données	80
III.4.Digitalisation	80

III.5.Cartographie de la vulnérabilité et interprétation	84
IV.Conclusion	86

LISTE DES TABLEAUX

Tab.I.1: Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued	5
TabII .1: températures moyennes mensuelles durant les deux périodes (1913-1938) et (1975-2013).....	19
Tab. II.2: précipitations moyennes mensuelles (mm) durant les deux périodes WW (1913-1938 et 1975-2013	20
Tab. II.3: précipitations moyennes annuelles (1975-2013).....	21
Tab. II.4 : Humidité relative moyenne mensuelle (1975-2013).....	22
Tab.II.5 : Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en % (1975-2011)	22
Tab.II.6 : Bilan hydrique (C.W.Thornthwaite) (1975-2013).....	25
Tab III.1: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued.....	32
Tab.III.2: Coordonnées UTM des sites des essais pompages	37
Tab.III.3: Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques.....	42
Tableau IV.1 : Faciès chimiques et formules ioniques (2013).....	58
Tab. V. 1Indices des paramètres calculés selon GOD.....	73
Tab. V.2: Indice d'épuration et vitesse de filtration des différents matériaux (REHSE, 1977).....	79
TAB. V.3 Indices des paramètres calculés selon REHESE.....	81
Tab. V.4.Analyse comparative des résultats des deux méthodes utilisées.....	86

LISTE DES FIGURES

Fig. I.1 : carte de situation de la wilaya d'el-oued.....	3
Fig. I.2 : carte de situation des communes de la wilaya d'El Oued.....	4
Fig. I.3 : Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba, 2005).....	8
Fig. I.4 : Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993).....	10
Fig. I.5: Coupe Géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989) Extraite a partir des logs lithologiques des forages	12
Fig. I.6 : Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989) Extraite à partir des logs lithologiques des forages	13
Fig.II.1 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (T°C) Durant les deux périodes (1913-1938 et 1975-2013).....	19
Fig.II.2 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm) Durant les deux périodes (1913-1938 et 1975-2013).....	20
Fig.II.3 : Variation interannuelle des précipitations (1975-2013).....	21
Fig.II.4 : Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne (1975-2013) de l'évaporation.....	22
Fig.II.5 : Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne à la station de Oued Souf (1975-2011).....	23
Fig.II.6 : Diagramme Ombrothermique de la vallée du Souf (1975-2013).....	24
Fig. III.1: Carte d'inventaire des points des eaux souterraine de la région d'El-Oued (2013)...	28
Fig. III.2: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972).....	29
Fig. III.3: Coupe hydrogéologique de l'El-Oued.....	30
Fig. III.4: Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional (Cornet, 1964).....	33
Fig. III.5: Carte géologie avec le sens d'écoulement des aquifères CT et CI (UNESCO, 1972).....	34
Fig. III.6: Carte piézométrique des eaux souterraine de la région d'El-Oued (Basses eaux (2010).....	35
Fig. III.7: Carte piézométrique des eaux souterraines d'El-Oued en 2013.....	36
Fig. III.8: Essai de pompage long duré à El-Oued centre interprété par la méthode de Cooper &-Jacob.....	38

Fig.III.9 : Essai de pompage long du duré à Ain raach, par la méthode de Cooper &- Jacob	39
Fig. III.10: Essai de pompage longue durée à Nakhlachamaliya interprété par la méthode de Cooper & Jacob.....	40
Fig. III.11: Essai de pompage longue durée a MAGRANE interprété par la méthode de Cooper &-Jacob	41
Fig. III.12: Essai de pompage longue durée à Ourmes interprété par la méthode de Cooper & Jacob.....	42
Fig. IV. 1: la carte de la répartition des points de prélèvements dans la région d'El-Oued	44
Fig. IV. 2 : Carte de variation des teneurs de pH (mol/l) des eaux souterrained'El- Oued.....	45
Fig. IV. 3 : Carte d'iso-teneurs en conductivitédes eaux souterrainesdes eaux souterrained'El-Oued.....	46
Fig. IV. 4 : Carte d'iso-teneurs en calcium (mg/l) des eaux souterrainesd'El-Oued.....	47
Fig. IV.5 : Carte d'iso-teneurs en magnésium (mg/l) des eaux souterrainesd'El-Oued..	48
Fig. IV. 6 : Carte d'iso-teneurs en potassium (mg/l) des eaux souterrainesd'El-Oued..	49
Fig. IV.7 : Carte d'iso-teneurs en sodium (mg/l) des eaux souterrainesd'El-Oued.....	50
Fig. IV. 8 : Carte d'iso-teneurs en chlorures (mg/l) des eaux souterrainesd'El-Oued ...	51
Fig. IV.9 : Carte d'iso-teneurs en sulfates (mg/l) des eaux souterraines d'El-Oued.....	52
Fig. IV.10 : Carte d'iso-teneurs en bicarbonates (mg/l) des eaux souterraine d'El-Oued.....	53
Fig. IV.11 : Le diagramme de Piper des eaux souterraines de la région d'El Oued (2013).....	55
Fig. IV.12: DiagrammeSchoelerBerkaloff (2013).....	57
Fig. IV. 13 : Couple Na^+ et Cl^- (2013).....	59
Fig. IV.14 : Couple SO_4^{+2} et Ca^{+2}(2013).....	60
Fig. IV.15 :La relation $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{-4}$ (2013).....	61
Fig. IV.16 :La relation Ca^{++}-Mg^{++} (2013).....	62
Fig. IV.17 Echange de base (2013).....	63
Fig. IV. 18 : couple Ca^+ etHCO_3^- (2013).....	64
Fig. IV.19.Le couple Ca^{+2}-$(\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-})$.	65
Fig. IV.20 : Carte de Na^0 des eaux souterraines de la région d'El-oued (2013).....	66
Fig. IV. 21: Carte de zonation par SAR des eaux souterraines de la région	

d'El-oued (2013).....	66
Fig. IV.22 : Carte de salinité des eaux souterraines de la région d'El-oued (2013).....	67
Fig. IV. 23 : Carte de variation des teneurs NO₃ (mg/l) des eaux souterraines	
d'El-Oued (2013).....	68
Fig. V.1 : Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un	
aquifère (d'après Foster, 1987)	71
Fig.V.2 : méthode utilisé pour la réalisation de la carte de vulnérabilité	72
Fig.V.3 : Carte des indices de la profondeur de la nappe superficielle d'El-Oued	74
Fig.V.4 : Carte des indices de type d'Aquifère de la région d'étude.....	75
Fig.V.5: Carte des indices de type lithologie de la zone non saturée ZNS.....	76
FigV.6 : Carte des indices de GOD de la zone non saturée ZNS.....	77
Fig.V.7: Carte de répartition du recharge (mm / an) de la nappe superficielle de la zone	
d'étude.....	83
Fig.V.8 : Carte de répartition du degré d'épuration de la nappe superficielle	
de la zone d'étude.....	84
Fig.V.9: Carte de répartition de l'inverse du temps de transit à la nappe superficielle de	
la zone d'étude.....	84
FigV.10: Carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe superficielle d'El-Oued	
Selon REHESE(1977).....	85

RIntroduction générale

L'accroissement démographique dans la partie sud-est de la wilaya d'El-Oued. nécessite un besoin en eau de plus en plus croissant. La sécheresse et les risques de pollution des eaux souterraines , nécessite un requiert une attention particulière. Ce présent travail s'oriente vers l'étude hydrogéologique, qualité des eaux souterraines et la vulnérabilité des nappes de la région d'étude. Les ressources du secteur sont représentées par les nappes, phréatique, complexe terminale(C.T), continental intercalaire (C.I) , pour les besoins en irrigation et en eau potable .

Dans cette étude nous nous sommes intéressés aux points suivants :

L'étude des ressources en eaux souterraines dans la région d'El-Oued qui souffrent non seulement du manque d'eau, mais aussi de sa salinité.

L'évaluation qualitative des ressources exploitables en eaux destinées aux l'usages domestique et agricole.

L'étude de la sensibilité des eaux souterraines à la pollution .

Le travail est structuré dans ce qui suit :

- La première partie est consacrée à l'étude des contextes géographique et géologique de la région d'étude en présentant les caractéristiques géologiques.
- La deuxième partie en présentant hydroclimatologique .
- La troisième partie traite l'hydrogéologique de les nappes, en définissant les paramètres hydrodynamiques et interprétant sa piézométrie.
- La quatrième partie concerne l'étude hydrochimique des eaux de la nappe.
- La cinquième partie on va essayer de tracer la carte de vulnérabilité et limiter les zones les plus sensibles à la pollution.

Chapitre-I

Présentation De La Région D'étude

I. Historique et situation géographique :

La wilaya d'El Oued se trouve au Sud-est de l'Algérie.

Elle devint une commune depuis 1957, une wilaya depuis janvier 1984 ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle et de limiter les difficultés dues à l'isolement, aujourd'hui elle se repose sur une superficie égale à 44586 km² divisé en 30 communes avec une population de 750840 habitants et une densité de 16,84 hab/km²

Les limites de la Wilaya sont :

- A l'Est par la République Tunisienne.
- Au Nord –Est par la wilaya de Tebessa
- Au Nord par la wilaya de Khenchla et Biskra
- Au Nord-Ouest par la wilaya de Biskra.
- A l'ouest par la wilaya de Djelfa.
- Au Sud-ouest et sud par la wilaya de Ouargla

Géographiquement la wilaya d'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.

El' Oued c'est la région du bas Sahara, il est un petit morceau d'un immense territoire géomorphologique qui constitue le grand Erg oriental, vaste étendue de sable 200000km², constituée par les alluvions des oueds qui au cours de Quaternaire ont désagrégé les reliefs situés plus au sud (massif central saharien) et ont épandu leurs matériaux sur le grand pan incliné qui s'ouvrait en direction des chotts, c'est matériaux sont remodelés inlassablement sur place par les vents sahariens, en dunes de types variés.

Les contraintes de l'erg sont grandes: pas d'eaux superficielles, pas de sources, difficultés de circulation.

Pour le saharien, l'erg est le territoire le moins attractif, dans un Sahara très peu peuplé, l'erg est un territoire vide.

Les Soufis ne se sont pas implantés de localiser n'importe où dans le Grand Erg, ils ont choisi le centre Nord dans le secteur qui combine un couvert végétal dense et une nappe phréatique proche et abondante: les eaux souterraines s'y sont progressivement concentrées.

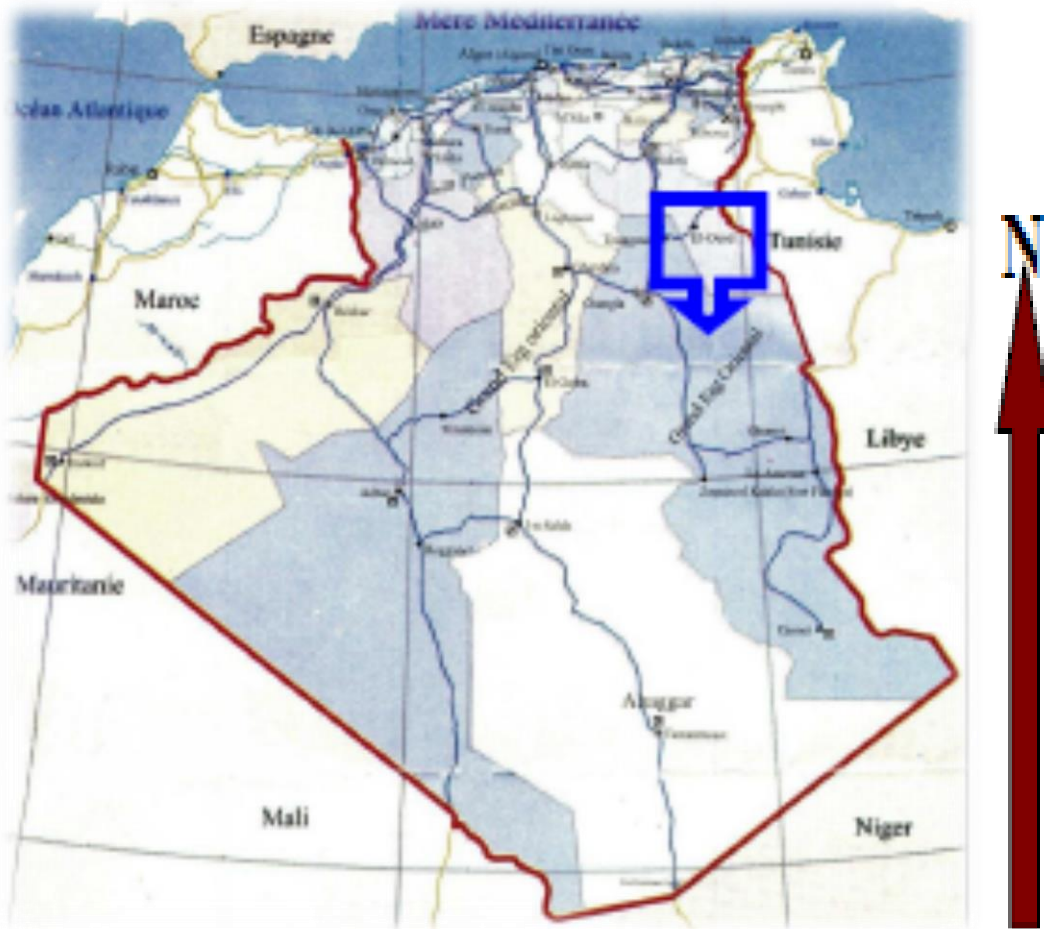
Plus au Sud, les dunes se dénudent et deviennent vives, la nappe est faible et profonde.

Plus au nord, les terrains se salent à proximité des grands Chotts Melrhir et Merouane.

II. 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 29mà la commune de Réguiba (Foulia).

L'altitude moyenne de la région est de 80 mètres et accuse une diminution notable du Sud ver 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).



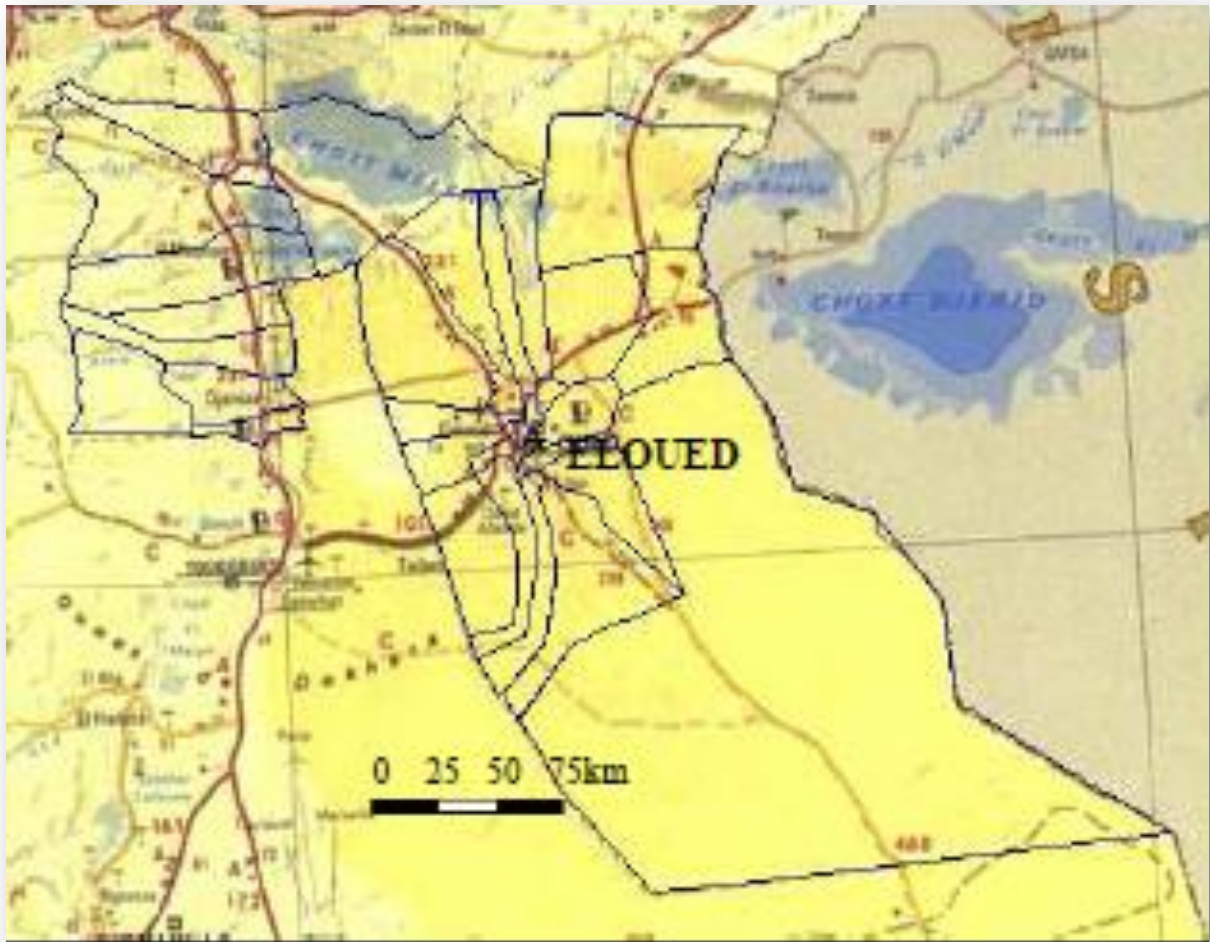


Fig. I.1 : carte de situation de la wilaya d'el-oued

Tab. I. 1: Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued .

N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km ²)	Densité hab/km ²	N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km ²)	Densité hab/km ²
1	El Oued	155 525	77.2	2 014	16	Bayada	37 320	138.8	268
2	Kouinine	11 900	116	102	17	Oued el Alenda	7 480	712	10
3	Réguiba	47 630	1965.6	24	18	MihOuansa	19 380	1 111.2	17
4	Guemar	46 470	1264.4	36	19	Hamraia	6 060	2 444	2
5	Taghzout	15 865	539.2	29	20	TalebLarbi	10 510	1110	9
6	Ouermes	6 450	443.8	14	21	Ben Guecha	4 205	2 646	1
7	Débila	28 675	78	367	22	Douar El Maa	7 210	17 813.6	0
8	HassaniAbdelkrim	26 775	58	461	23	El Meghaier	56 380	1 532	36
9	HassiKhalifa	36 450	1 112	32	24	Sidi Khalil	7 225	840	8
10	Trifaoui	9 605	474	20	25	Still	6 065	904.8	6
11	Magrane	27 625	618	44	26	OumTouyour	11 930	2 116	5.64
12	SidiAoun	13 745	480	28	27	Djamaa	59 865	780	76
13	Robbah	25 290	499.2	50	28	SidiAmrane	23 750	552	43
14	Nakhla	14 950	700	21	29	Mrara	9 480	1 132	8
15	El Oglâ	7 085	1352	5	30	Tendla	9 940	978	10
						Total	750 840	44 586.8	16

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 de Oued-Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente (Fig.I.4: Log de forage F1 de l'Albien):

III.2.1. Formation de l'ère Secondaire :

➤ **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.

➤ **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.

➤ **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.

➤ **Le Vraconien :**

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens 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 grés 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.

➤ **Le Cénomanien :**

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.

➤ **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.

➤ **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.

➤ **Sénonienlagunaire :**

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 Sénoniencarbonaté :**

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 nummulites.

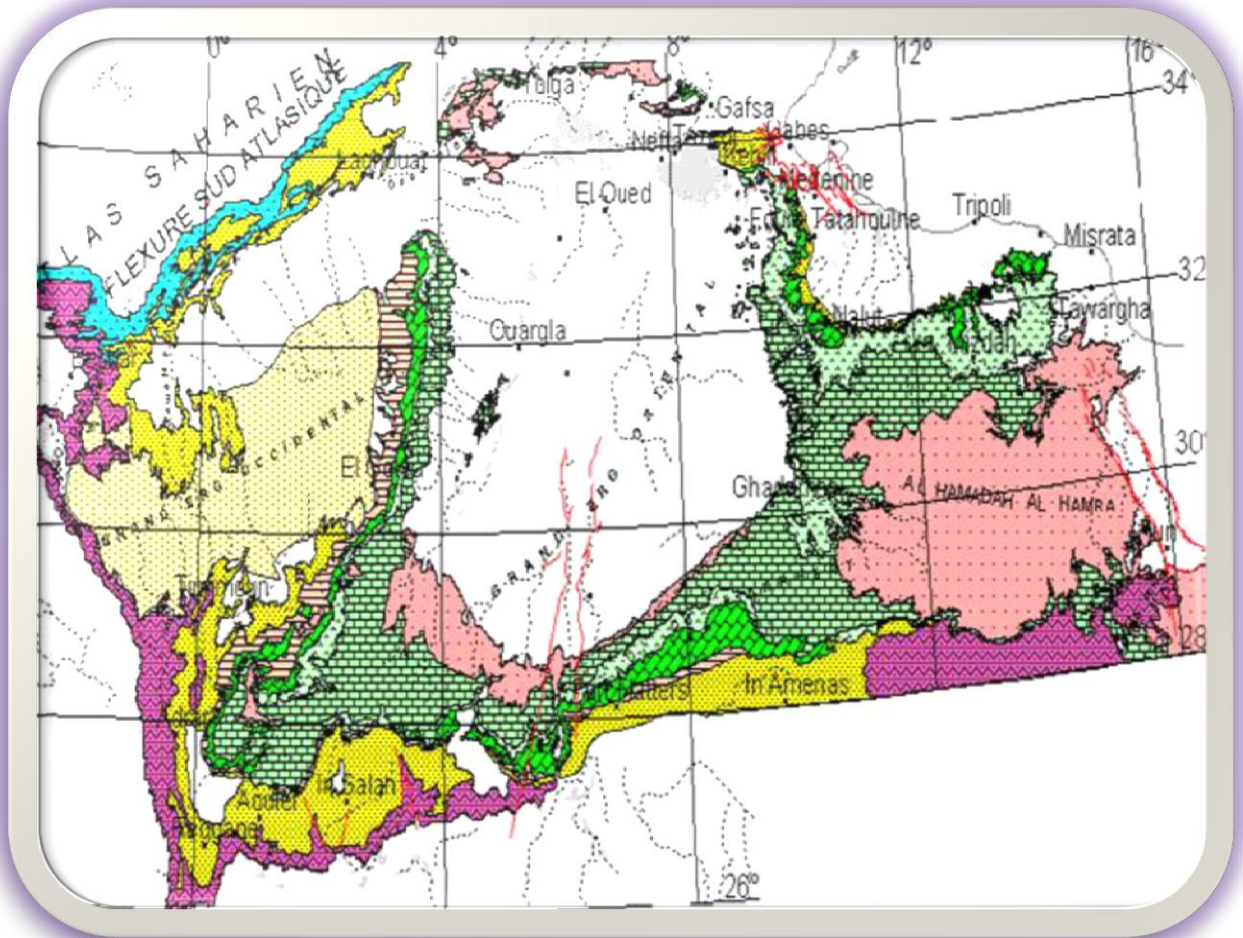


Fig. I.3 : Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba, 2005)

III.2.2. Formations de l'ère Tertiaire :

➤ 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.

➤ 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 Demargne 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 Sénono-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.

III.2.3. Formations 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.

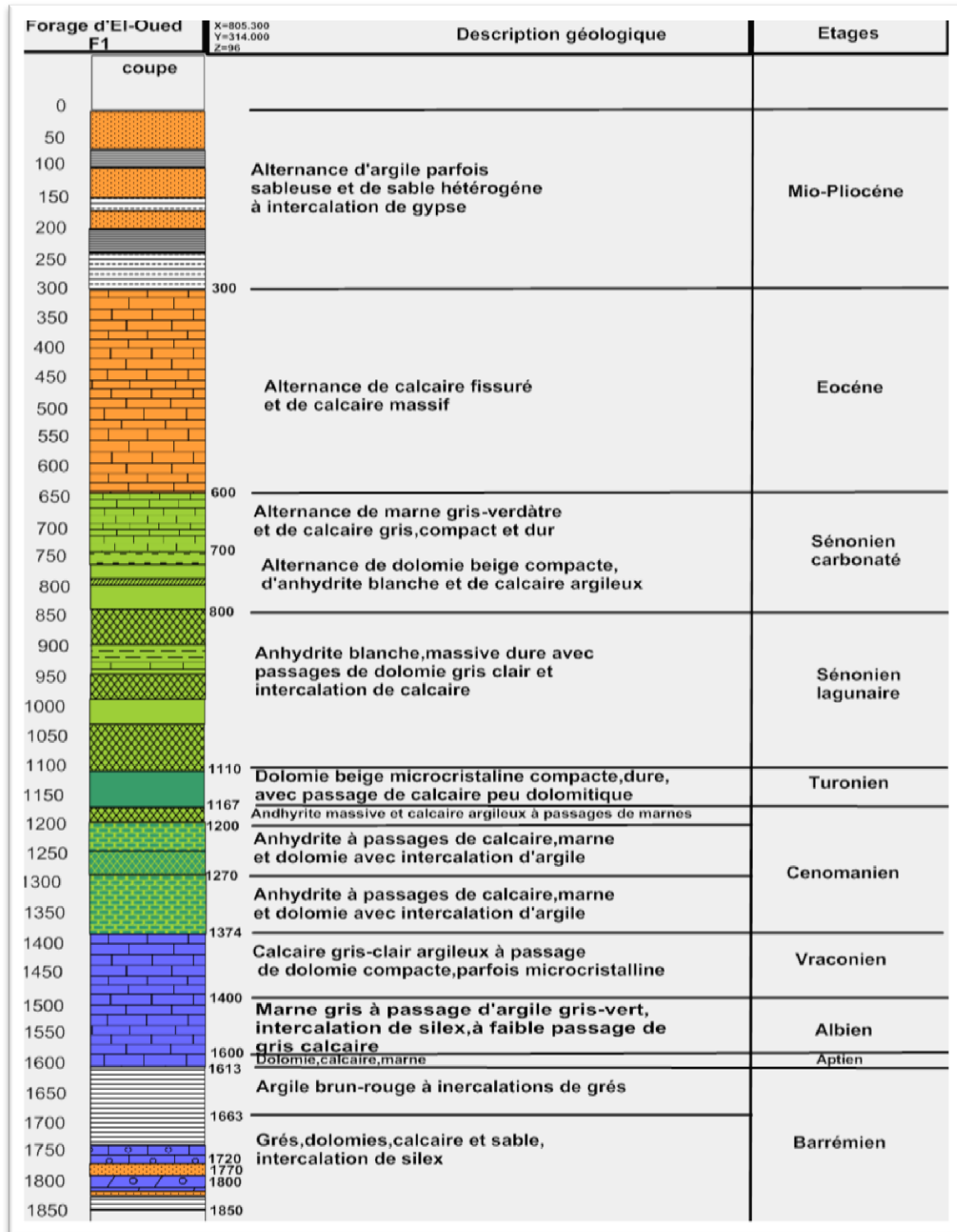


Fig. I.4 : Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993)

III.3. Geomorphologie :

Oued et jusqu'à El-Ogla 24 Km plus loin, on remarque l'absence totale de « Tefza » (pierre à plâtre calcaire), tandis que sur un autre axe allant de El-Oued à Ghamra (en passant par Tiksebt, Kouinine et Guemar) la « Tefza » y occupe tous le terrain.

Ainsi deux bandes de terrains sédimentaires, de formations différentes, renfermant des roches dissemblables dont dépend de la qualité de la nappe aquifère, prolongent de part et d'autres sur les principaux axes du Souf.

Une coupe dans le sol, nous permet de distinguer :

III.3.1. Tercha :

Formé de fins cristaux qui lui donnent un aspect de grès ; se rencontre en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer.

III.3.2. Louss :

Le Louss est fait de cristaux de gypse en fer de lames imbriqués, il se rencontre sous forme de couches continues, très dures de réseaux mélangés au sable, de bancs isolés ou de colonnes qui semblent être constituées autour d'anciennes racines gypseuses.

III.3.3. Salsala ou Smida :

Se trouve en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer comme le Louss, mais c'est plus fins et plus serrés.

III.3.4. Tefza :

C'est un grès blanc assez dur, et constitue la pierre à chauffer qui donnera le plâtre.

(Tercha, Louss, Salsala, Smida et Tefza sont les appellations locales, utilisés pour les différentes couches géologiques).

III.4. Interprétation des coupes :

L'établissement des coupes a pour but, d'établir une corrélation lithologique du sous sol, ainsi que d'identifier l'extension géographique, l'épaisseur approximatif de la nappe et l'épaisseur utile des couches.

➤ 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).

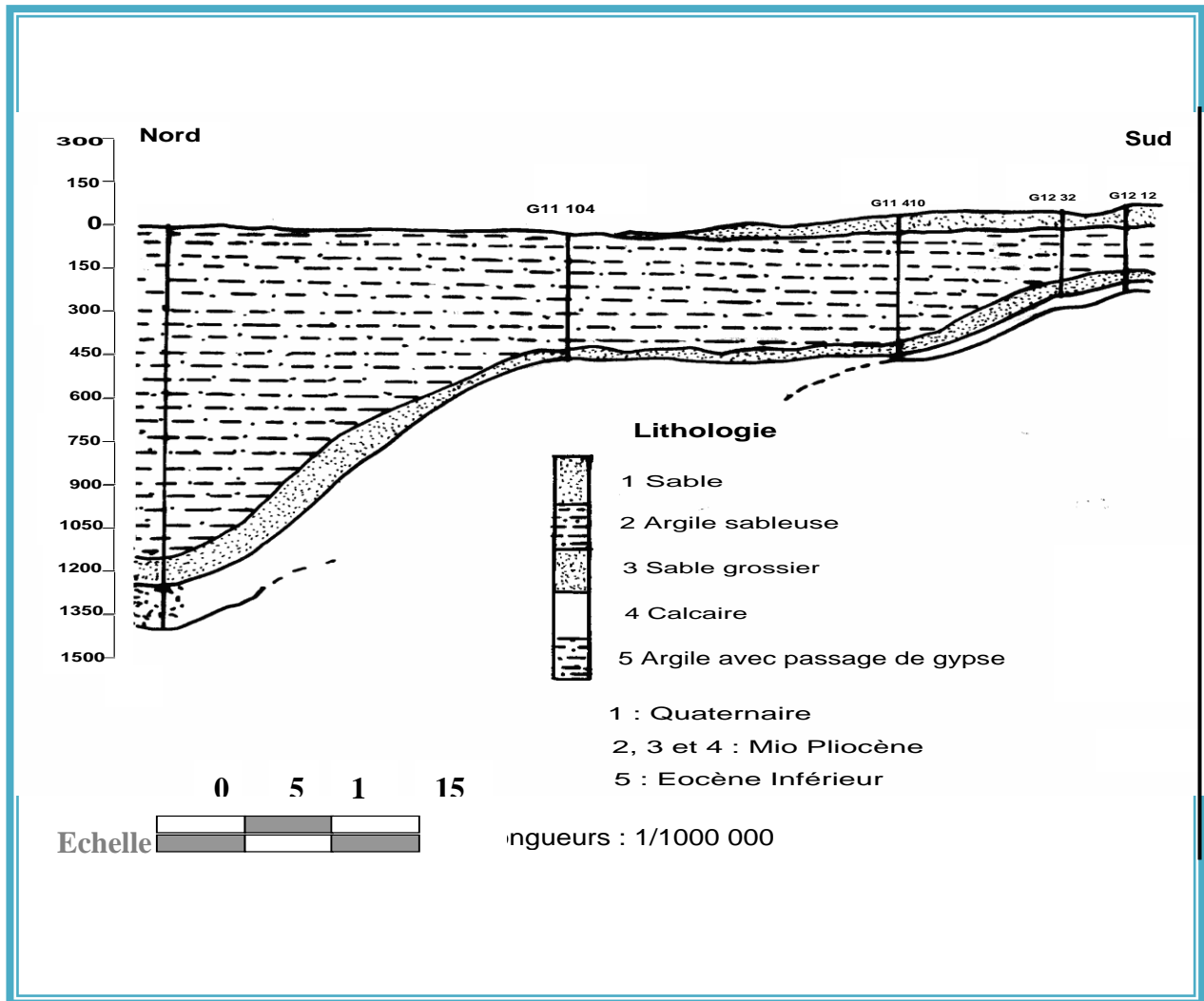


Fig. I.5: Coupe Géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989)

Extraite a partir des logs lithologiques des forages

➤ **Coupe N° 2**

La coupe N° 2 orientée NE-SW, en allant de la région dite Merzaga vers Ourmès, on remarque au niveau du forage (H_{12}^{52}), l'absence du Quaternaire, ce ci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne. Les formations miopliocènes sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de 200 m). Cette dernière devient régulière sur tout le reste de la région, au contraire de celle de Quaternaire qui est constituée par des sables qui changent d'une région à l'autre (par exemple, au niveau du forage H_{12}^{540} l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H_{12}^{84}) (Fig. I.6).

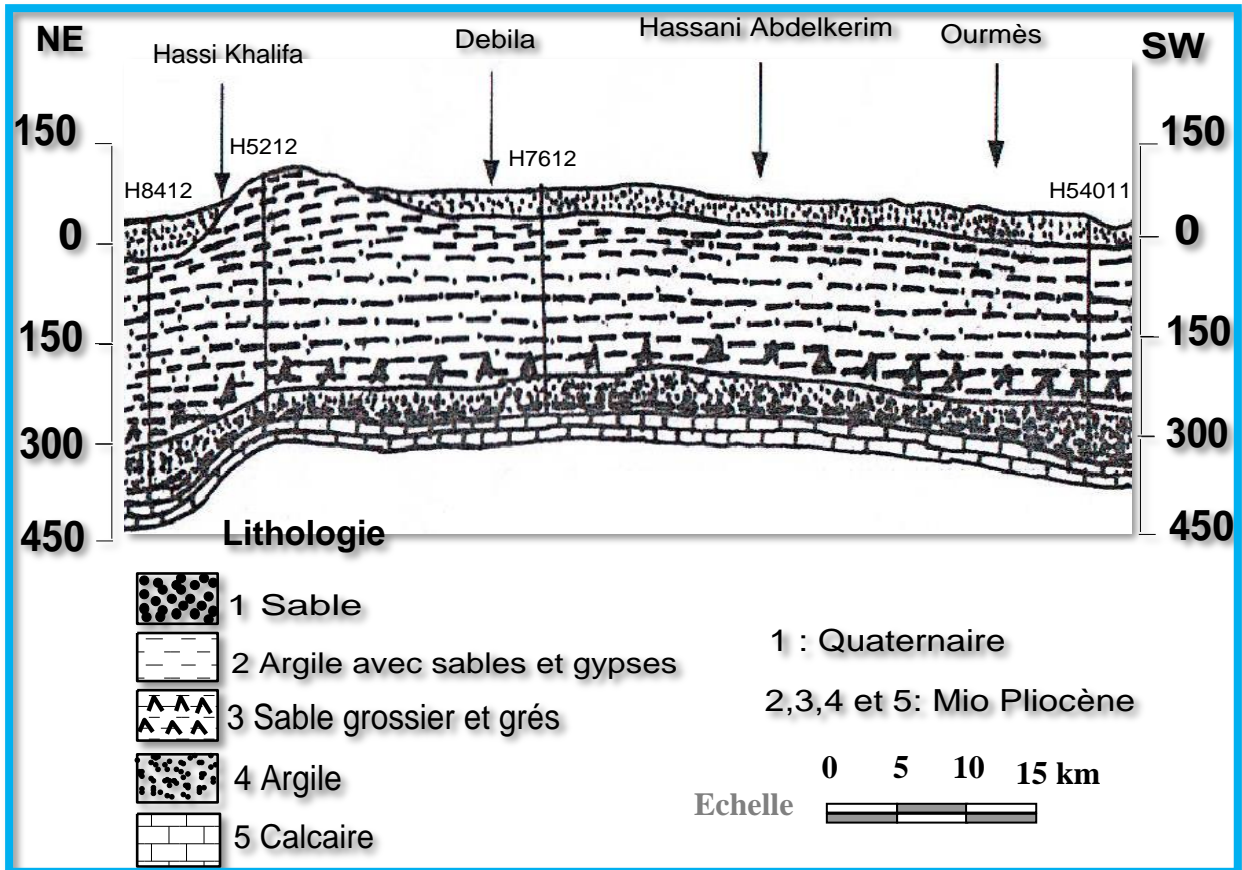


Fig. I.6 : Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989)

Extraite a partir des logs lithologiques des forages

➤ **Coupe N° 3:**

La coupe N° 3 est orientée du Nord-Ouest vers le Sud-Est, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-est. (Fig. I.7).

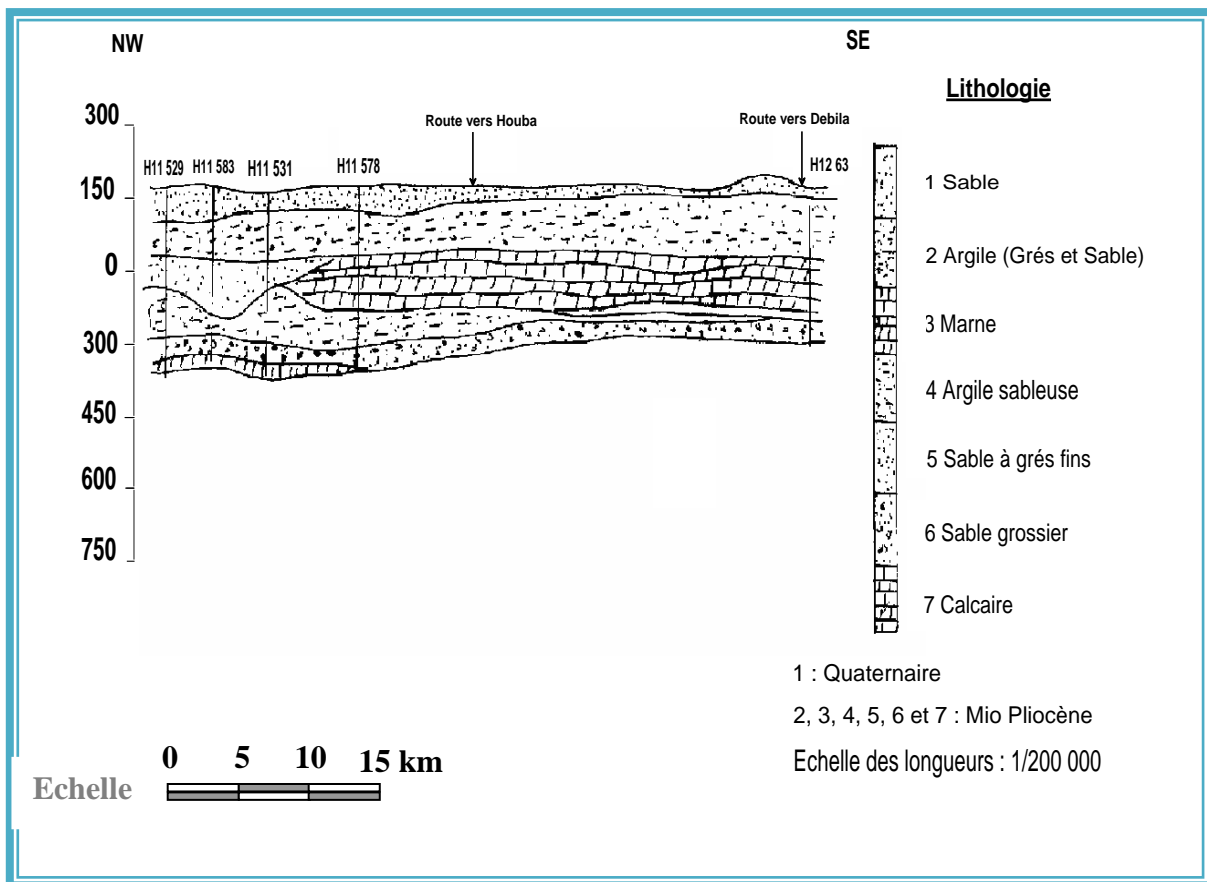


Fig. I.7: Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989)

Extraite a partir des logs lithologiques des forages

III.5.Tectonique :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacé forme un vaste synclinal dont le fond a un très grand rayon de courbure. Les courbes sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Donc si nous désirons retracer l'évènement paléogéographique du Souf, il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du Quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci (dépression) se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles dépressions

correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du Quaternaire.

Ces caractéristiques 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.

L'aquifère Quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 mètres. 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 mètres de profondeur aux extrémités Nord-est de la région d'étude. La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacée forme un vaste synclinal dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure.

III.6. 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.

IV. Conclusion:

A partir de cette étude, nous constatons que la région a 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 caractérisée par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux 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.

Chapitre-II

Hydro Climatologie

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 1975-2013) 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 information 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 différents : L'une allant de 1913 à 1938 établie par Seltzer alors que l'autre plus récente (1975 à 2013).

La température moyenne mensuelle :

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

Tab. II.1: températures moyennes mensuelles durant les deux périodes (1913-1938) et (1975-2013)

Moi	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
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
1975-2013	29,27	23,4	16,32	11,81	10,81	13,13	16,23	20,14	25,08	30,55	33,35	33,58	21,97

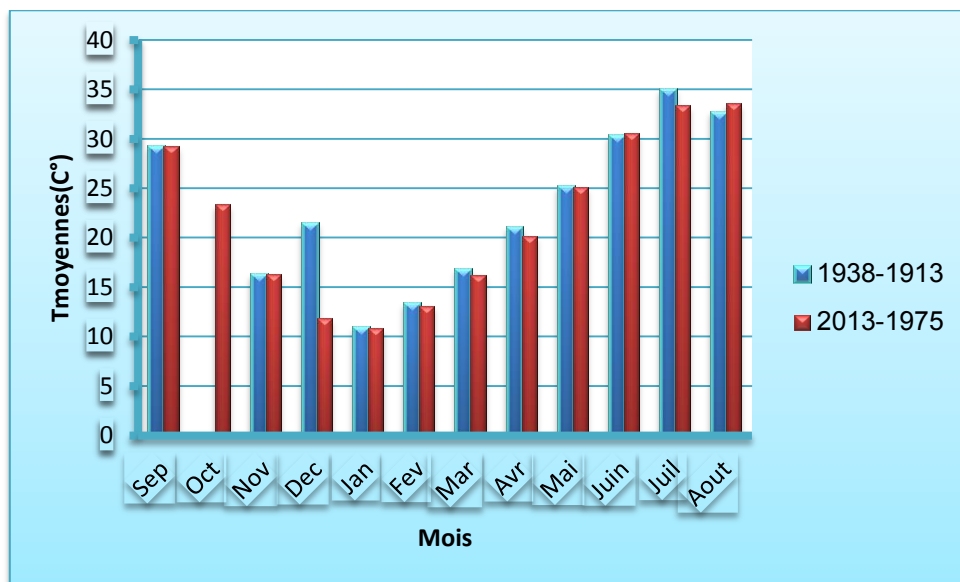


Fig.II.1 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (T°C) Durant les deux périodes (1913-1938 et 1975-2013).

L'histogramme (Fig.1)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 (1975-2013), le mois le plus froid est le même que la première série 1913-1938 (Janvier) ; par contre les 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 dueaux 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).

**Tab. II.2: précipitations moyennes mensuelles (mm) durant les deux périodes WW
(1913-1938 et 1975-2013)**

Moi	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
1975-2013	6,59	5,77	4,94	6,46	8,31	3,84	9,55	8,12	3,45	1,76	0,35	0,63	4,98

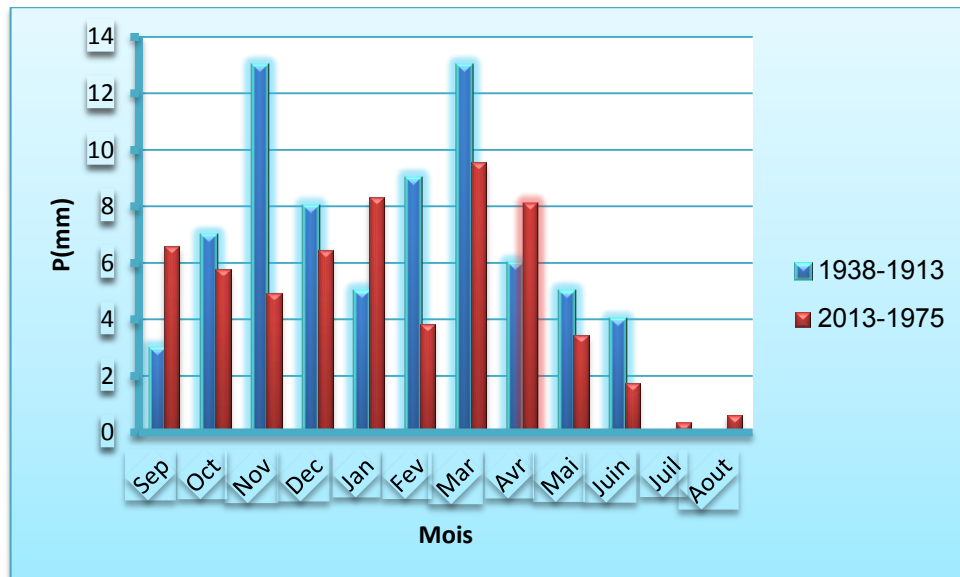


Fig.II.2 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm) Durant les deux périodes(1913-1938 et 1975-2013)

L'histogramme(Fig2)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.

8,31mm. 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 arrosé .

➤ Précipitation moyenne interannuelle :

Tab. II.3: précipitations moyennes annuelles (1975-2013)

Année	p (mm)
1975	110,83
1976	122,42
1977	93,38
1978	72,69
1979	114,94
1980	106,38
1981	40,41
1982	89,27
1983	24,92
1984	61,53
1985	42,25
1986	97,13
1986	50,7

Année	p (mm)
1988	77,46
1989	21,78
1990	168,68
1991	86,78
1992	82,33
1993	50,38
1994	51,78
1995	63,27
1996	114,18
1997	77,24
1998	80,17
1999	134,66
2000	42,47

année	p (mm)
2001	57,31
2002	51,13
2003	68,9
2004	49,94
2005	52,65
2006	35
2007	54
2008	31
2009	96,6
2010	45,9
2011	28
2012	22,9
2013	64

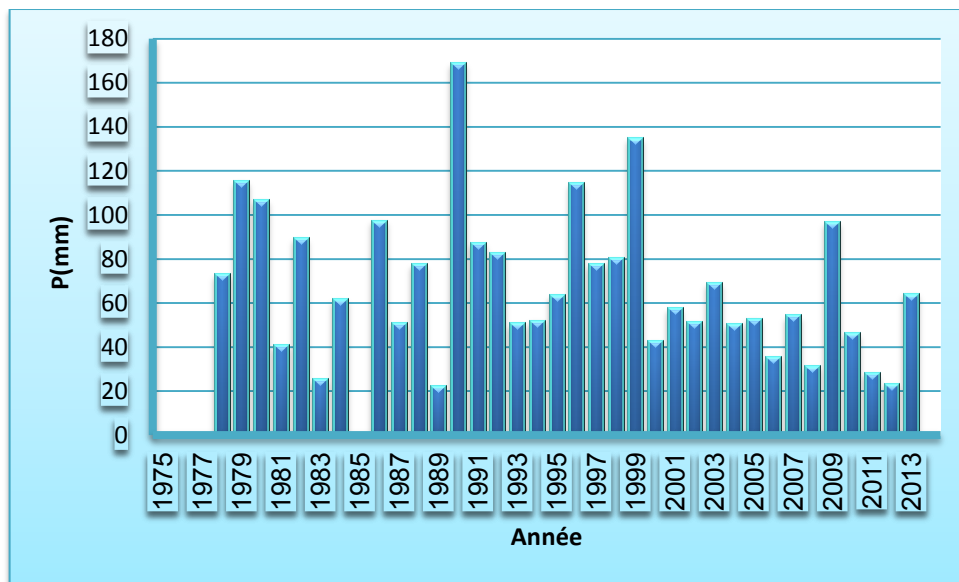


Fig.II.3 : Variation interannuelle des précipitations (1975-2013)

C.L' Humidité :

Le tableau suivant donne les valeurs d'humidité relative moyenne, observées durant la période de (1975-2013). L'histogramme (Fig.II.4) permet de distinguer les mois secs des mois relativement humides.

Tab. II.4 : Humidité relative moyenne mensuelle (1975-2013)

Mois	SEP	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
HR%	45,32	53,99	58,47	62,78	63,89	53,82	48,21	42,28	37,56	32,91	30,23	33,27	46,89

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

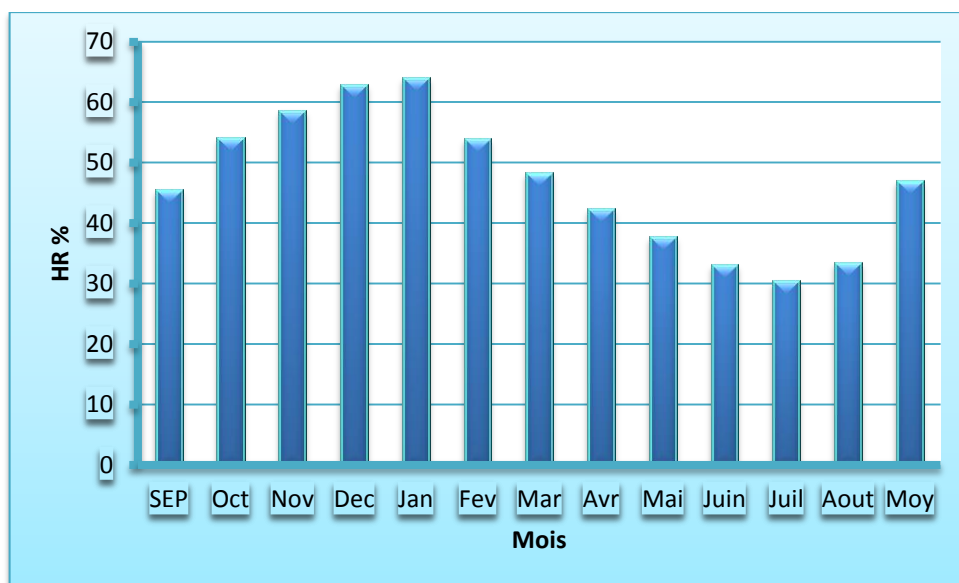


Fig. II.4 : Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne (1975-2013)

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. Avec une moyenne de 15.45mm par an.

Tab.II.5 : Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en % (1975-2011)

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

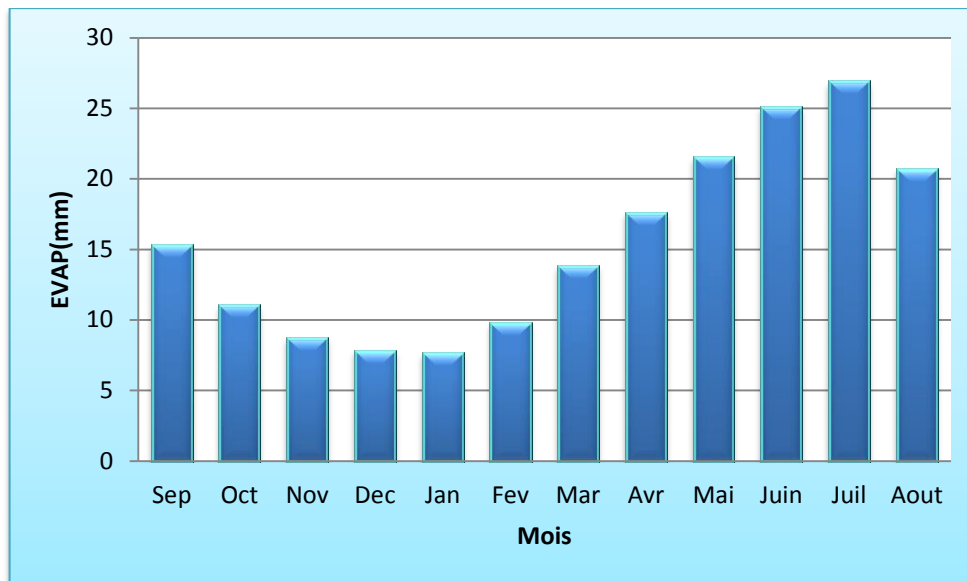


Fig.II.5 : Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne à la station de gumar (1975-2011)

e. **Indice d'aridité** : Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en ($^{\circ}\text{C}$), en appliquant la formule suivante :

$$I = P / 10 + T$$

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle ($^{\circ}\text{C}$).

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par de abaque, formule De Martone, nous pouvons tirer le type de climat de notre région d'étude.

- 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.

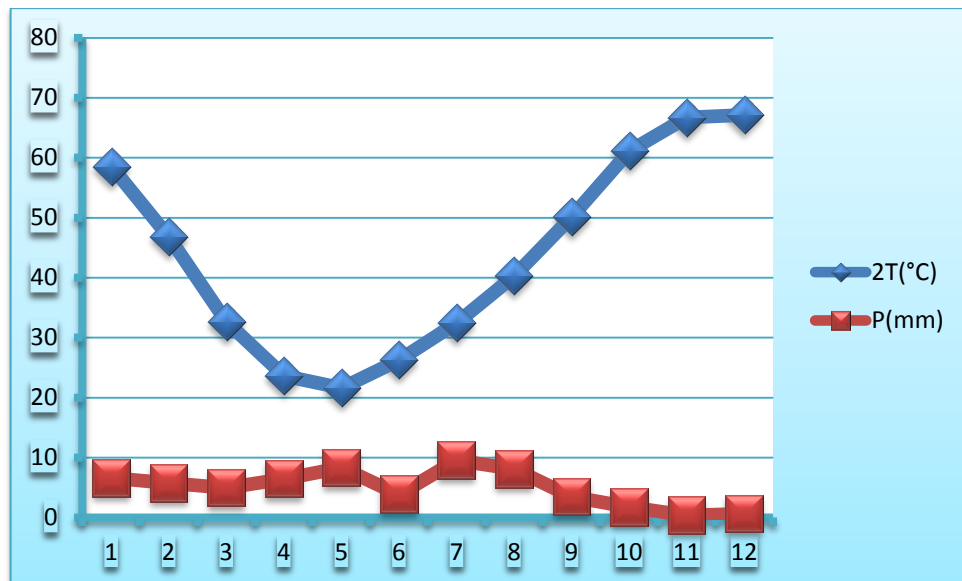


Fig.II.6 : Diagramme Ombrothermique de la vallée du Souf (1975-2013)

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 : $P \leq 2T$.

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 mémé 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.

On la formule du Turc :

❖ 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 :

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

Tab.II.6 : Bilan hydrique (C.W.Thornthwaite) (1975-2013)

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	29,24	14,5	1,03	143,3	6,59	-136,7	-1,0	0,0	0,0	6,6	136,7	0,0
O	23,4	10,3	0,97	79,0	5,77	-73,3	-0,9	0,0	0,0	5,8	73,3	0,0
N	16,32	6,0	0,86	29,5	4,94	-24,6	-0,8	0,0	0,0	4,9	24,6	0,0
D	11,81	3,7	0,81	12,8	6,46	-6,3	-0,5	0,0	0,0	6,5	6,3	0,0
J	10,81	3,2	0,87	11,1	8,31	-2,8	-0,3	0,0	0,0	8,3	2,8	0,0
F	13,13	4,3	0,85	17,3	3,84	-13,5	-0,8	0,0	0,0	3,8	13,5	0,0
M	16,23	5,9	1,03	34,9	9,55	-25,3	-0,7	0,0	0,0	9,6	25,3	0,0
A	20,14	8,2	1,10	62,5	8,12	-54,4	-0,9	0,0	0,0	8,1	54,4	0,0
M	25,08	11,5	1,21	116,4	3,45	-113,0	-1,0	0,0	0,0	3,5	113,0	0,0
J	30,55	15,5	1,22	188,5	1,76	-186,8	-1,0	0,0	0,0	1,8	186,8	0,0
J	33,35	17,7	1,24	236,5	0,35	-236,1	-1,0	0,0	0,0	0,4	236,1	0,0
A	33,58	17,9	1,16	224,9	0,63	-224,3	-1,0	0,0	0,0	0,6	224,3	0,0
Annuel		118,8		1156,7	59,8	-1097,0				59,8	1097,0	0,0

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 (9,6 mm) et son minimum au mois de Juillet (0.4mm).
- 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 un précipitation très faible.

II. Conclusion:

La répartition interannuelle des précipitations d'une moyenne 4,98 mm, on a, pour la température une valeur moyenne de 21,97C°, 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 63,89%) et d'un faible rayonnement solaire et le mois le plus sec est juillet caractérisé par une faible humidité (moyenne de 30,23 %) 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.

Chapitre-III

Hydrogéologie

I. Introduction :

L'étude hydrogéologique est prépondérante à la compréhension des processus d'alimentation des aquifères d'une part, et la reconnaissance des sens d'écoulement d'autre part, ainsi que la variation du gradient hydraulique, les caractéristiques hydrodynamiques, et la détermination des conditions aux limites du système aquifère et enfin la détermination de la géométrie des nappes.

Dans un premier stade est de comprendre l'évolution du niveau piézométrique dans le temps et dans l'espace.

Dans un deuxième stade de connaître le régime hydrodynamique du réservoir en cernant finalement les zones de fortes transmissives d'une part, et d'autre part les zones de fortes perméabilités.

Ces descriptions vont pouvoir nous aider à mieux comprendre la vulnérabilité de la nappe aux différents polluants.

II. Inventaire des forages :

L'inventaire des points d'eau de notre système aquifère se définit par 29 forages en Complexe Terminale selon l'inventaire de 2013.

Parmi les quels trois sont abandonnés, le reste est destiné soit à l'exploitation de l'AEP soit à l'exploitation irrigation, Plus d'une soixantaine de forage se trouvent dans la région d'El- Oued exploitant la nappe pour l'alimentation en eau potable d'une part et d'autre part pour l'irrigation des terres cultivées. (Fig. III.1).

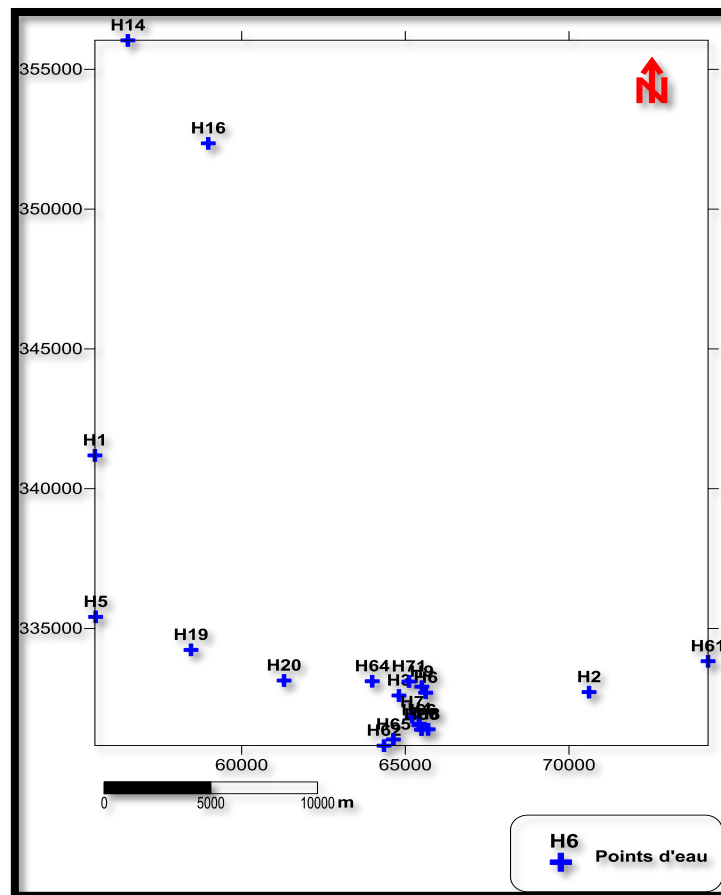


Fig. III.1: Carte d'inventaire des points des eaux souterraines de la région d'El-Oued (2013)

III. Cadre hydrogéologique :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780'000 km².

Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques subverticaux.

Les pendages des bancs sont en général faibles, à l'exception de la zone bordière située au Nord-Est du bassin (Fig. III.2). Celui-ci comporte, à sa base, des formations paléozoïques marines surmontées en discordance par les formations continentales du Secondaire et du Tertiaire épaisses de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire y succède. Il est constitué essentiellement de sables dunaires dont l'épaisseur peut atteindre quelques centaines de mètres.

Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique certain. Allant du Crétacé au Quaternaire, elle constitue une alternance de grès, sables, sables argileux et d'argiles, de

calcaires, dolomies et de marnes, ainsi que d'évaporites. Cette série comporte trois grands ensembles perméables auxquels correspondent trois grands systèmes aquifères : la nappe du Continental Intercalaire, la nappe du Complexe Terminal et la nappe phréatique.

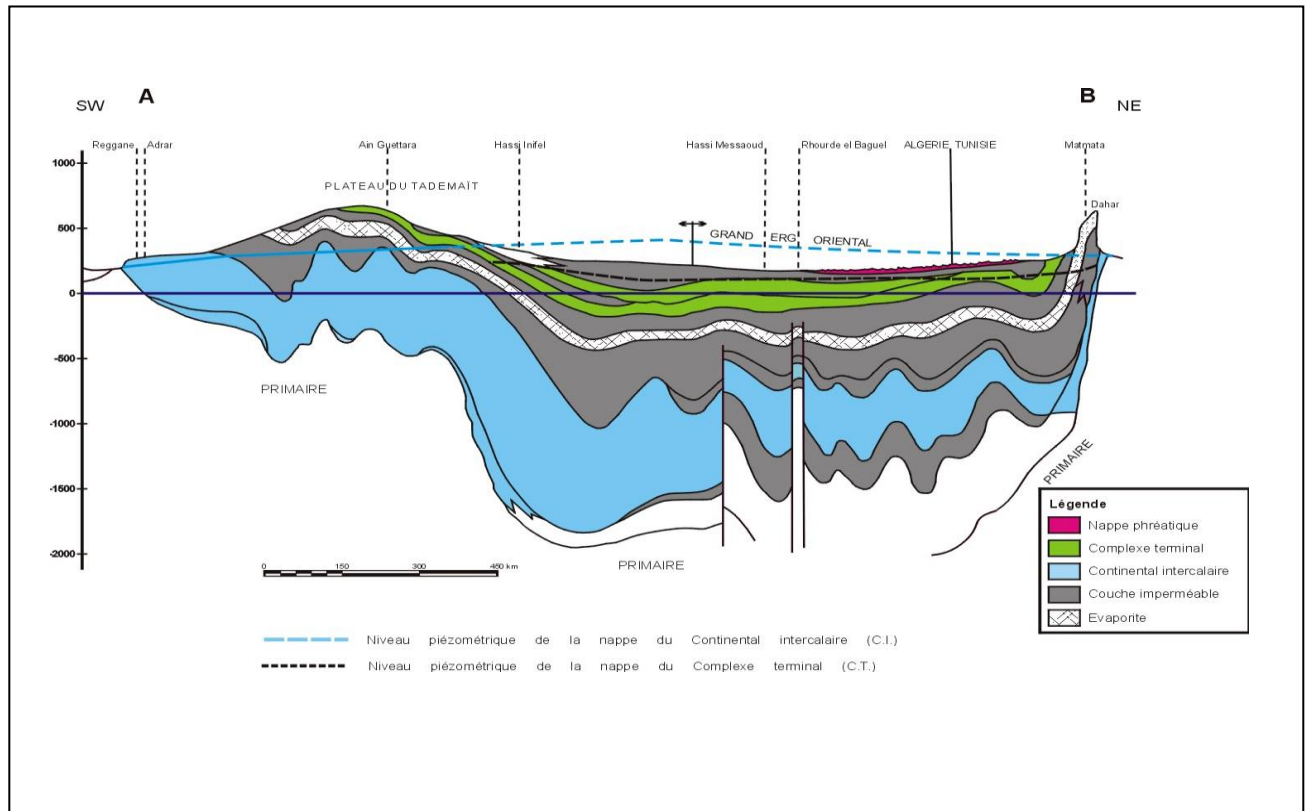


Fig. III.2: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972) .

III.1. Nappe Phréatique :

La nappe phréatique présente dans toute la région du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire ; elle se localise à des profondeurs variant entre 10 et 60 mètres.

Vu sur son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies ; elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon les enquêtes sont en nombre de 21000.

La circulation des eaux dans cette nappe est relativement rapide sur toute la région du Souf et particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté dans la région des Chotts la nappe libre est présente sur toute la zone d'étude.

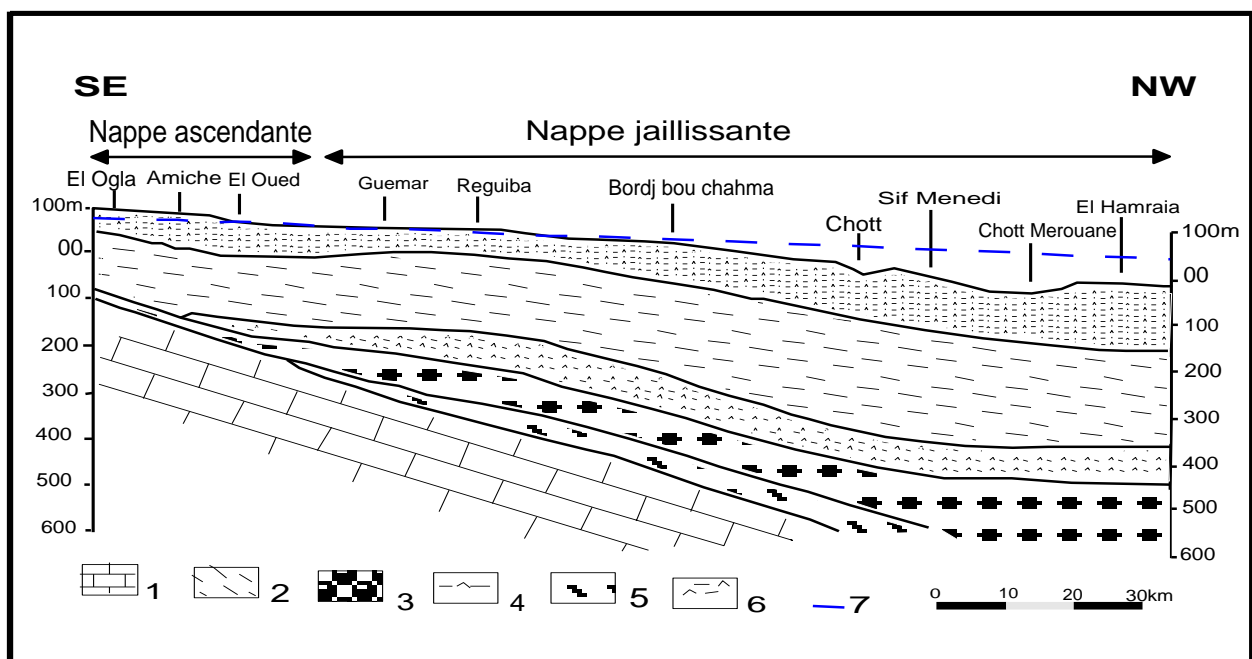
La nappe phréatique dans la région du Souf est principalement alimentée par les eaux utilisées par les populations (les eaux d'irrigation, industrielles et domestiques) et la source absolue de

ces dernières est des nappes profondes du Complexe Terminale et Continentale Intercalaire (Cote, 1998).

III.2. Nappe du Complexe Terminal :

Ce terme regroupe sous une même dénomination, un ensemble de nappes aquifères qui sont situés dans la formation géologique différentes : Sénonien carbonaté et Eocène, Miopliocène sableux.

D'après CORNET 1964, nous rappelons l'existence des 03 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes de sables d'âge Miocène (Pontien) et Pliocène, alors que la dernière à l'Eocène inférieur (Figure II.03).



1- calcaire de l'Eocène inférieur marin et de l'Eocène moyen évaporitique. 2- Argiles sableuses et marnes de la base du continental terminal. 3- Sable grossiers à graviers du Pontien inférieur. 4- Argiles et gypse dominants. 5- Argiles et sable dominants. 6- Argile sable et gypse (les trois derniers étages appartiennent au Mio-Pliocène supérieur). 7- Niveau hydrostatique de la nappe du Pontien inférieur.

Fig. III.3: Coupe hydrogéologique de l'El-Oued

a- 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 mètres 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

L'écoulement des eaux dans ces deux dernières nappes se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est, autrement dit vers la zone des chotts (Melghir et Merouane).

Dans la zone à fortes exploitations telle que la ville d'El-Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Laarbi et Douar El Maa, la nappe est exploitée à ce jour artisanalement. C'est le cas de la nappe Pontienne.

b- 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.

III.3.Nappe du Continent Intercalaire (CI) :

Le terme « C.I » correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé inférieur cette période se situe entre deux cycles sédimentaires régité 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.

Tab.III.1: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued.

Nature hydrogéologique		Nature lithologique	Etage		Ere
Nappe phréatique		Sables	Quaternaire		
Niveau imperméable		Argiles			
1 ^{ère} nappe des sables	Complexe Terminal	Sables	Pliocène		Tertiaire
Semi-perméable		Argiles gypseuses			
2 ^{ème} nappe des sables		Sables grossiers, graviers	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen	Eocène	
Nappe des calcaires (perméables)		Calcaire fissuré	Inférieur	Crétacé	
	Sénonien carbonaté				
Semi-perméable	Evaporites, argiles	Sénonien lagunaire			
Niveau imperméable	Argiles, marne	Cénomanién			
Nappe de Continental Intercalaire	Sables et Grés	Albien			

IV. Aperçu historique :

La géomorphologie de la région du Souf se présente par des reliefs très accidentés, avec l'existence de plusieurs fosses (GHITANES) inondées abritant en général les palmeraies dépériées.

Avant la réalisation du premier forage en 1956 la nappe ne susciter pas d'inquiétudes, car elle était presque l'unique ressource exploitée, soit pour l'A.E.P ou pour l'irrigation.

Autre fois dans le Souf la palmeraie était plantée dans le GHOUT à environ 1m du toit de la nappe phréatique ce qui lui permet de puiser l'eau directement de l'aquifère. Mais avec la

croissance démographique et le développement urbain et agricole de la région créant ainsi une demande importante et incessante des besoins en eau pour l'A.E.P et l'irrigation, provoquant ainsi la multiplication des forages à travers la région du Souf.

En présence de toute cette mobilisation en eau totalisant un débit de $119.92 \text{ hm}^3/\text{an}$ et en présence d'un sol favorable au phénomène de la remontée capillaire et en l'absence de réseau d'assainissement et de drainage et d'un exutoire naturel. Toutes ces conditions accélèrent l'apparition de ce phénomène de la remontée.

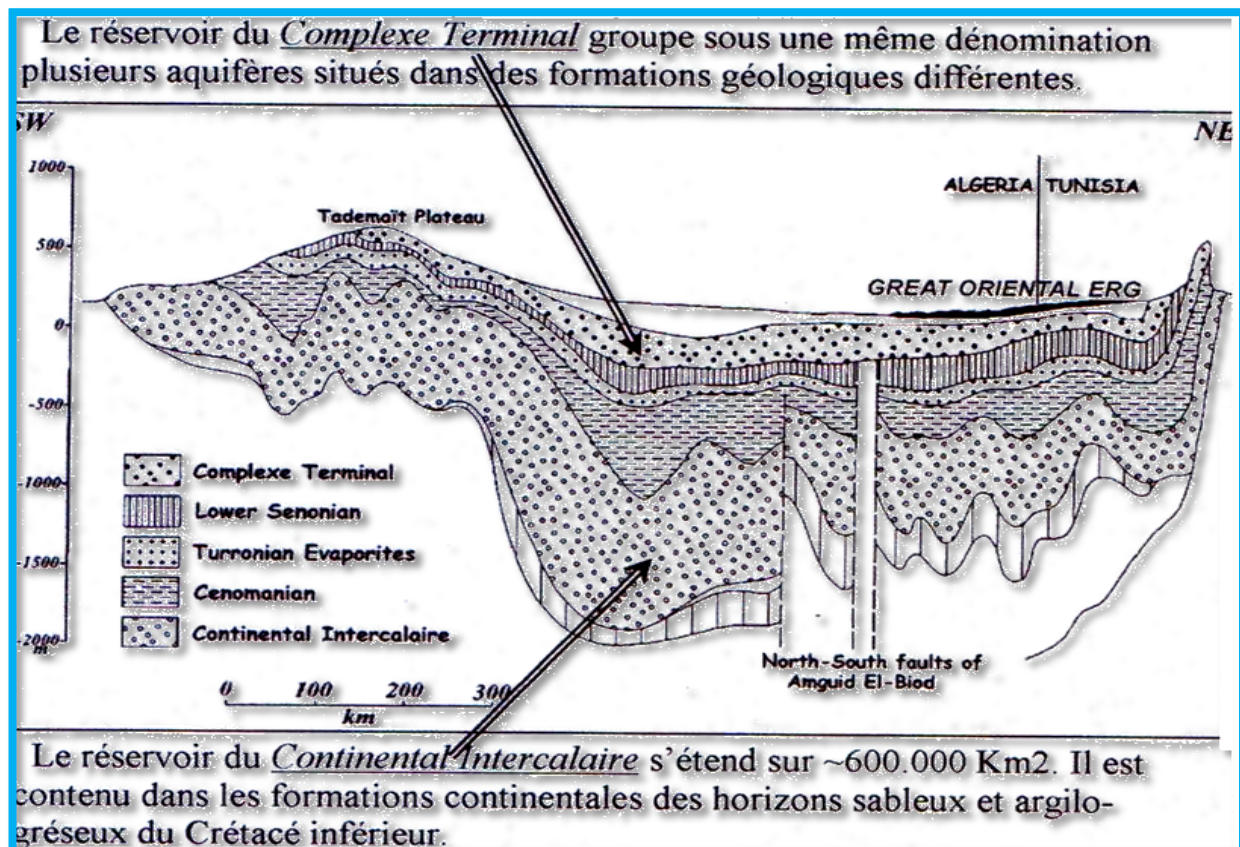


Fig. III.4: Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional.(Cornet, 1964)

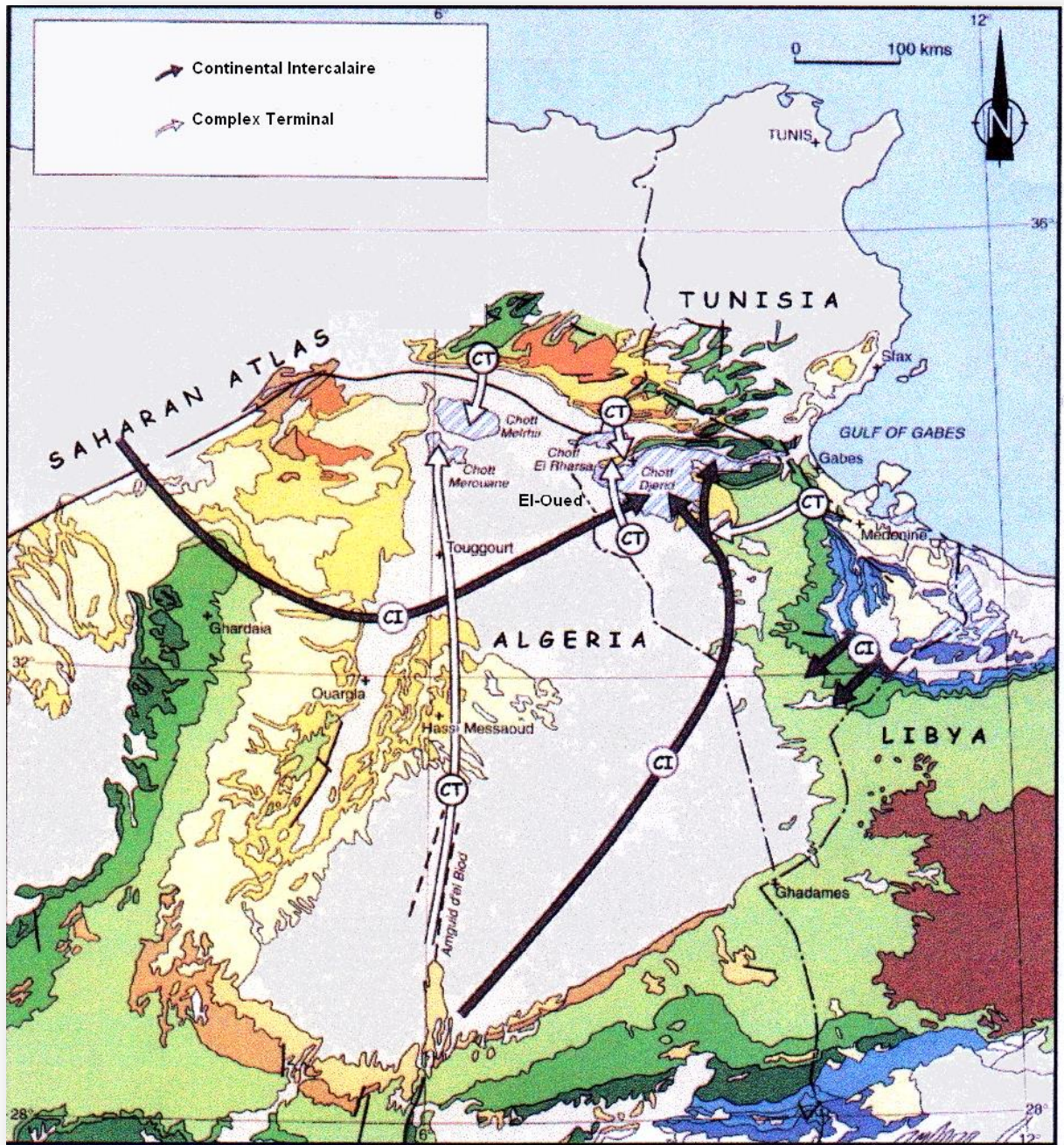


Fig. III.5: Carte géologique avec le sens d'écoulement des aquifères CT et CI
(UNESCO, 1972)

V. Piézométrie:

La carte piézométrique a pour but de représenter la configuration de l'aquifère et de schématiser la fonction conduite du réservoir et le comportement hydrodynamique de l'aquifère, elle traduit la morphologie de la surface d'eau de la nappe à une époque déterminée. Une campagne piézométrique faite pendant les basses eaux a permis de suivre l'évolution de la piézométrie de la nappe.

V.1. Interprétation de la carte piézométrique (2010):

La carte piézométrique dressée pendant la période des basses eaux (2010) a permis de déterminer le sens d'écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines, l'alimentation de la nappe.

Le sens d'écoulement est Sud – Nord-Ouest, les courbes hydro isohypses sont relativement rapprochées avec une concavité orientée vers le Sud.

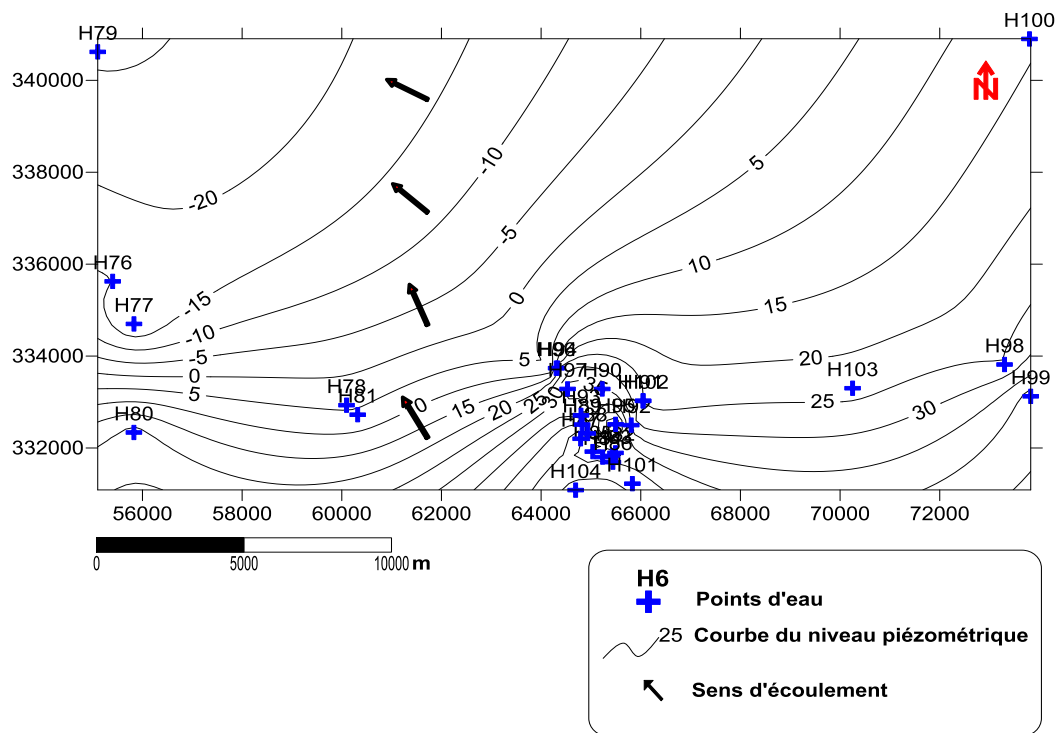


Fig. III.6: Carte piézométrique des eaux souterraines de la région d'El-Oued (2010)

V.2. Interprétation de la carte piézométrique (2013):

La carte piézométrique dressée pendant la période des basses eaux (2013) a permis de déterminer le sens d'écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines, l'alimentation de la nappe. (La figure III.7) décrit principaux :

Le sens de l'écoulement est Sud - Nord-Ouest, les courbes hydro isohypses sont relativement rapprochées avec une concavité orientée vers le Sud-Ouest.

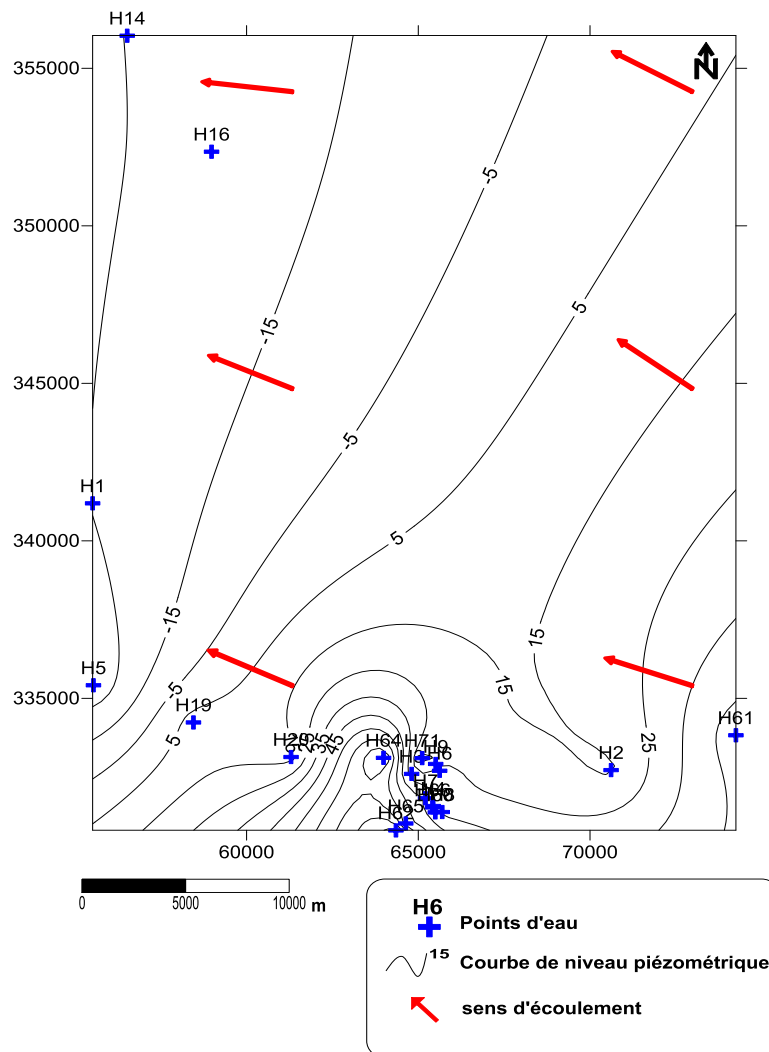


Fig. III.7 : Carte piézométrique des eaux souterraines d'el-Oued (2013)

IV. Paramètres hydrodynamiques :

IV.1.Introduction:

Des essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés sur 4 sites répartis dans la zone d'étude de la région du Souf à Ain raach, NakhlaChamaliya, Ourmes, El-Oued centre, et Foulia, du 2013.

Chaque site d'essais est constitué d'un forage de pompage et trois piézomètres d'observation, situés à 5, 15, 45 mètres du puits de pompage. Les forages de pompage sont des forages existants avec des caractéristiques différentes, alors que tous les piézomètres réalisés pour ces essais de pompage sont identiques. Les rejets des eaux de pompage sont situés plus loin des sites des essais de pompage.

Les essais de pompage ont comporté, pour chaque site :

- Un essai par paliers enchaînés et composé de trois paliers de 6 heures chacun à débit constant mais différents, séparés par un intervalle d'au moins 12 heures.

➤ L'essai de longue durée a constitué en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée.

IV.2. Coordonnées UTM des sites des essais par pompage :

Les coordonnées UTM des sites des essais de pompage sont définies dans le tableau (III.1) .

Tab.III.2: Coordonnées UTM des sites des essais pompages

Site	X	Y	Z (m)
El-Oued centre	06°51'44"	33°21'22"	92
Ain raach	06°0'20 ,2 "	33°54'22 ,5 "	24
Nakhlagharbiya	06°56'20"	33°15'45"	90
Ourmes	06°45'54 "	33°23'59"	79
Blila	06°57'06"	33°34'19"	60

IV.3. Essai de pompage à El-Oued centre :

IV.3.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, trois de 8 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués le 2013 sur un forage amélioré, exploité, dans la commune d'El-Oued, (coordonnées UTM Clarke 1880 X = 06°51'44", Y =33°21'22").

Cet aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué du sable fin, plus ou moins induré, comprenant une forte proportion de gypse.

IV.3.2. Détermination de débit spécifique :

Les mesures du rabattement du niveau piézométrique dans le forage de pompage d'essai de 8 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le graphe, temps/rabattement. Le débit est de 33l/s

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 28800 secondes. Le rabattement à 16l/s est de 2,1 m, celui à 24 l/s est de 1,02 m, et celui à 33l/s est de 1,22 m.

Le débit spécifique est de $2, \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.3.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation d'essai de longue durée, (72 h) à débit constant de 43 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage

Les mesures dans le forage de pompage sont représentées sur le graphe, temps/rabattement

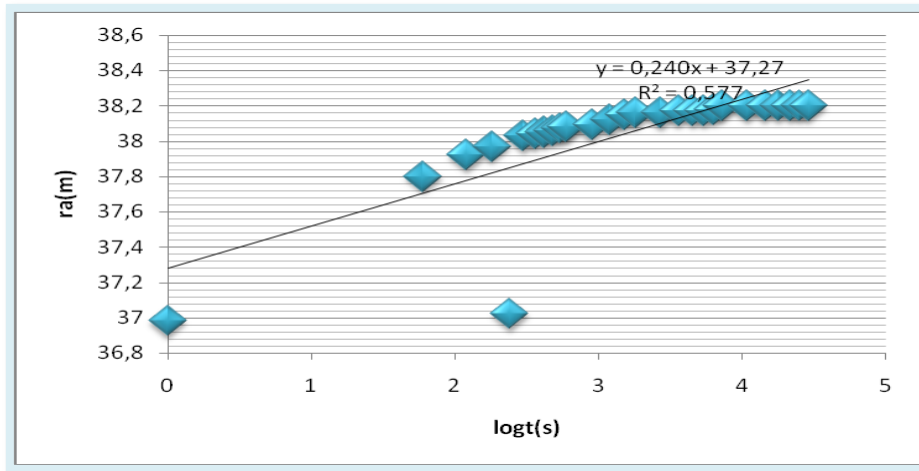


Fig. III.8: Essai de pompage longue durée à El-Oued centre interprété par la méthode de Cooper &-Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper-jacob est de :

$$T = 0.183Q / c = 0.183 * 53 * 10^{-3} / 0.28 = 3.4 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$

IV.4. Essai de pompage à Ain raach :

IV.4.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués en 2013 , au-delà de la localité de Ain raach, en direction de Biskra (coordonnées UTM X = 06°0'20,2 " , Y = 33°34'22,5 ").

Cet aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué du sable limoneux gypseux peu argileux et du sable fin, plus ou moins induré, comprenant une forte proportion de gypse.

IV.4. 2. Détermination de débit spécifique :

Les mesures du rabattement du niveau piézométrique dans le forage de pompage d'essai de 8 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le graphe, temps/rabattement.

Le débit est de 53/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 28800 secondes. Le rabattement à 30l/s est de 4 m, celui à 40 l/s est de 0,97 m, et celui à 53/s est de 1,29 m.

Le débit spécifique est de $4,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.4.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h) débit constant de 53 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage.

Les mesures dans le forage de pompage

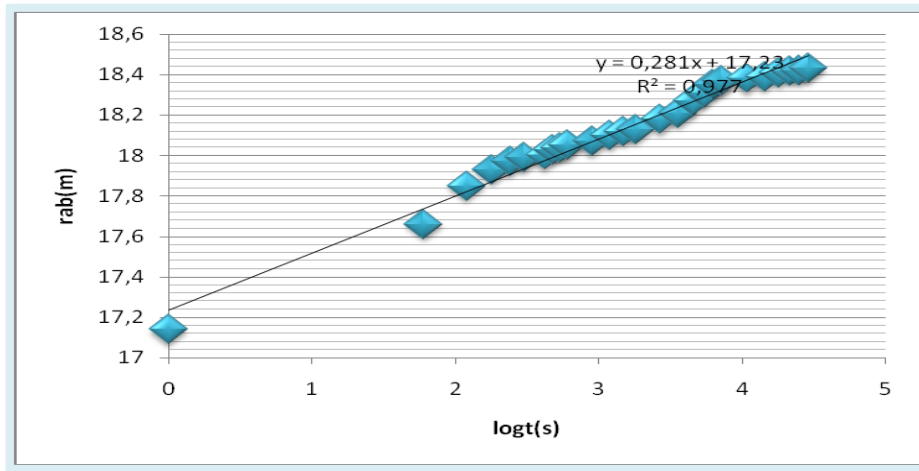


Fig. III.9: Essai de pompage long durée à Ain Raach Interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper & Jacob est de :

$$T = 0.183Q / c = 0.183 * 40 * 10^{-3} / 0.04 = 1,83 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$

IV.5. Essai de pompage à Nakhla gharbiya:

IV.5.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 2013 sur un forage amélioré, non exploité, dans un périmètre agricole abandonné de la commune de (coordonnées UTM Clarke 1880 X = 6°56'20 , Y = 33°15'45) .

IV.5.2. Détermination de débit spécifique :

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de

15 l/s, 25 l/s et 34 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 14400 secondes. Le rabattement à 15 l/s est de 8,46 m, celui à 25 l/s est de 16,47 m, et celui à 34 l/s est de 21,09 m.

Le débit spécifique est de $01.61 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.5.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation de l'essai de loge --durée, (72 h) à débit constant de 34 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage.

Les mesures dans le forage de pompage est représenté sur le graphe, temps/rabattement.

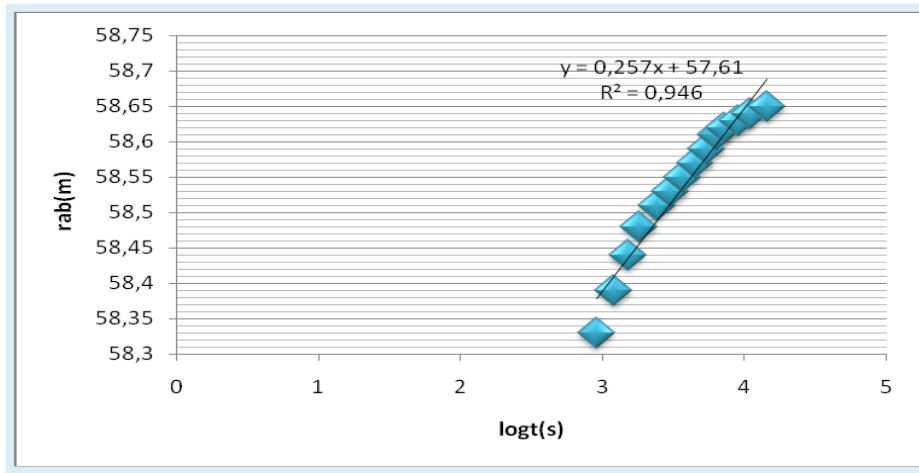


Fig. III.10: Essai de pompage longue durée à Nakhla ttghamaliya interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper-jacob est de :

$$T = 0.183Q / c = 5,88 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV.6. Essai de pompage à Blila :

IV.6.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 2013 et sur un Le forage de Blila est destiné à l'alimentation en eau potable (AEP) de la commune de Magran ..

(coordonnées UTM Clarke 1880 X =6°57'05", Y =33°54'22 ,5 ").

Cette aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué du sable limoneux gypseux peu argileux et du sable fin, plus ou moins induré, comprenant une forte proportion de gypse. 92m.

IV.6.2. Détermination de débit spécifique :

Les mesures dans le forage de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe temps/rabattement. Les débits sont de 20 l/s, 30 l/s et 35 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 14400 secondes. Le rabattement à 20 l/s est de 8,67 m, celui à 30 l/s est de 15,59m, et celui à 35 l/s est de 21,53 m.

Le débit spécifique est de $1,62 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.6.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h) à débit constant de 35l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage. est représentées sur le graphe, temps/rabattement

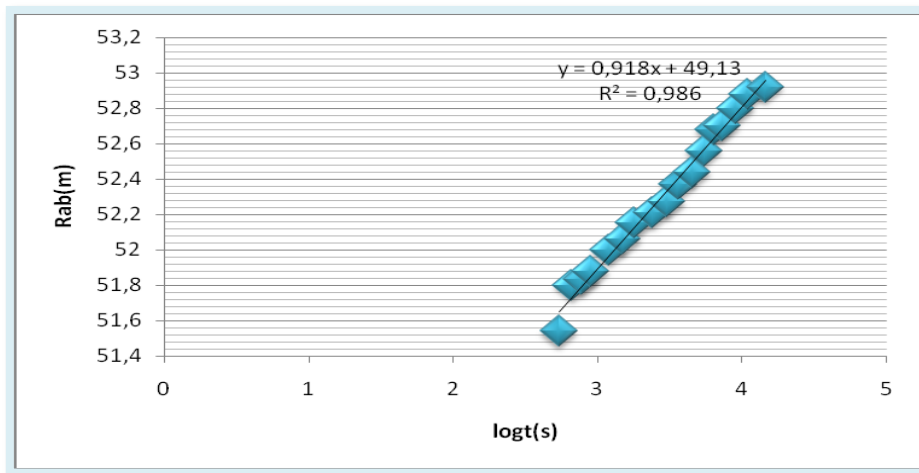


Fig. III.11: Essai de pompage longue durée a magrane interprété par la méthode de Cooper &-Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper & Jacob est de : $T = 3,44 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.7. Essai de pompage à Ourmes :

IV.7.1. Introduction :

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre 2013 sur un forage amélioré exploité, dans la commune de Ourmes (coordonnées UTM Clarke 1880 X = $06^{\circ}45'54''$, Y = $33^{\circ}23'59''$).

IV.7.2. Détermination de débit spécifique :

Les mesures dans le forage de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe temps/rabattement. Les débits sont de 20l/s, 30 l/s et 40 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 28800 secondes. Le rabattement à

20 l/s est de 1,62 m, celui 30 l/s est de 0,88 m, et celui à 40 l/s est de 0,83 m.

Le débit spécifique est de $5,6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

IV.7.3. Interprétation de l'essai de longue durée :

Interprétation d'essai de longue durée, (72 h, 05 min et 30 s) à débit constant de 13,3 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage

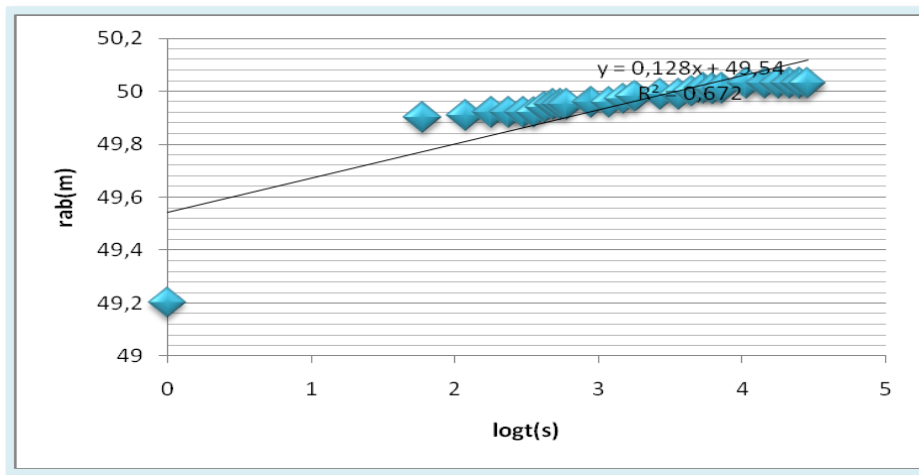


Fig. III.12: Essai de pompage longue durée à Ourmes interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Jacob & Cooper est de :

$$T = 0.183Q / c = 0.183 \cdot 40 \cdot 10^{-3} / 0.04 = 1,83 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Coefficient de porosité efficace (n_e) :

Le coefficient de porosité efficace de la nappe libre est estimé à 10 % dans la zone d'étude (d'après la DHW d'El Oued).

Tab.III.2 : Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques .

site	Débit spécifique (m^2/s)	Transmissivité (m^2/s)
El-Oued centre	2×10^{-2}	$3,4 \times 10^{-6}$
Nakhlagharbiya	$4,1 \times 10^{-2}$	$1,83 \times 10^{-2}$
Ain raach	1.61×10^{-3}	$5,88 \times 10^{-2}$
Blila	$1,62 \times 10^{-3}$	$3,44 \times 10^{-2}$
Ourmes	$5,6 \times 10^{-2}$	$1,83 \times 10^{-2}$

VI. Conclusion :

L'étude hydrogéologique complétée par la géophysique ainsi que la géologie et les données de forages ont permis de schématiser la géométrie de l'aquifère alluvionnaire. Il s'agit d'un aquifère libre au Nord devient captif à semi captif au Sud par changement de faciès lithologique.

L'analyse piézométrique a montré que la surface piézométrique a une morphologie non uniforme avec un écoulement de direction générale Sud-Nord, et un gradient hydraulique assez fort en bordure de la plaine diminuant en allant au centre de cette dernière.

L'examen des coupes hydrogéologiques et l'interprétation des essais de pompage montrent bien la zone favorable à l'implantation des forages .

Chapitre-IV

Hydrochimie

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.) et visualiser à l'aide de cartes en iso-teneurs, la répartition et l'évolution géographique des concentrations en éléments chimiques dissous.

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques

d'échantillons d'eau que nous avons prélevés au niveau de la nappe CT du Souf où nous avons sélectionné 59 points d'eau .

II. Cartographie hydrochimique :

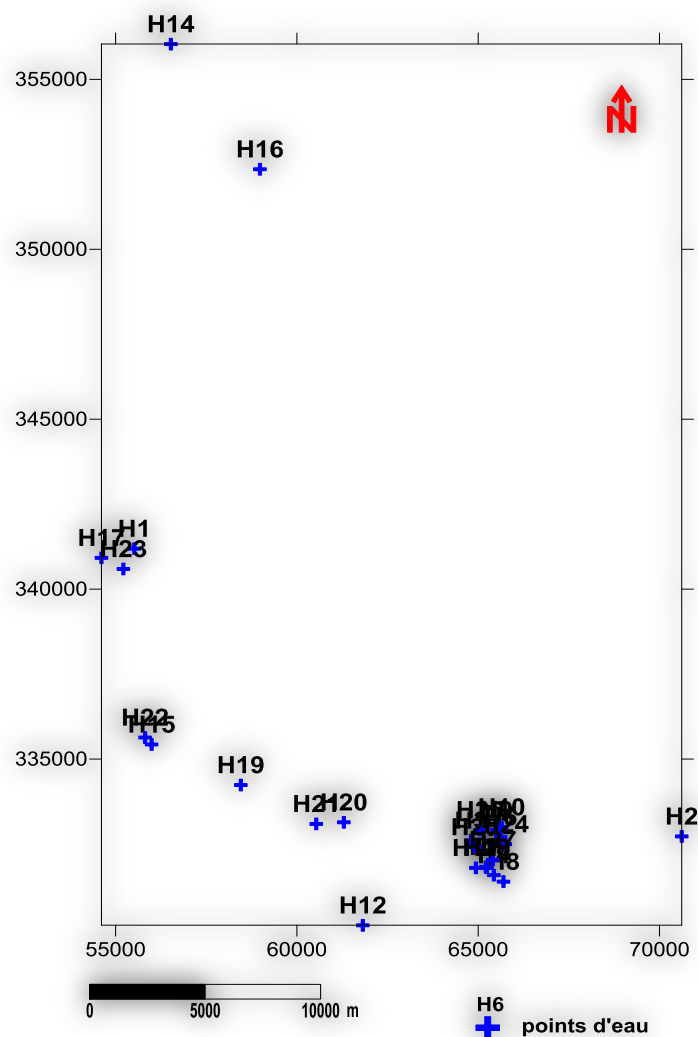


Fig. IV. 1: la carte de la répartition des points de prélèvements dans la région d'El-Oued

III. Paramètres physico-chimiques :

III.1. Paramètres physiques :

III .1.1. Température :

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz ainsi que sur la valeur du pH. La connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines.

Dans cette étude, les températures des eaux souterraines observées varient de 23 °C à 29°C. Elles semblent ainsi indiquer l'influence de la température de l'air ambiant sur les eaux souterraines, traduisant une circulation peu profonde.

III.1.2.Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH est une mesure de la concentration en proton en solution. Les valeurs de pH ont été mesurés sur terrain.

Les eaux de la région d'étude montrent deux zones principales:

- Une zone où le pH est légèrement basique variant entre 7.5 et 8.5 dans la région Nord et le Sud et le centre de la carte de variation de teneurs de PH (H19,H20...ect) liée probablement au faciès lithologique
- Et une zone ou le pH est relativement faible (varie entre 6.7 et 7.30) au Sud-Ouest à carte .

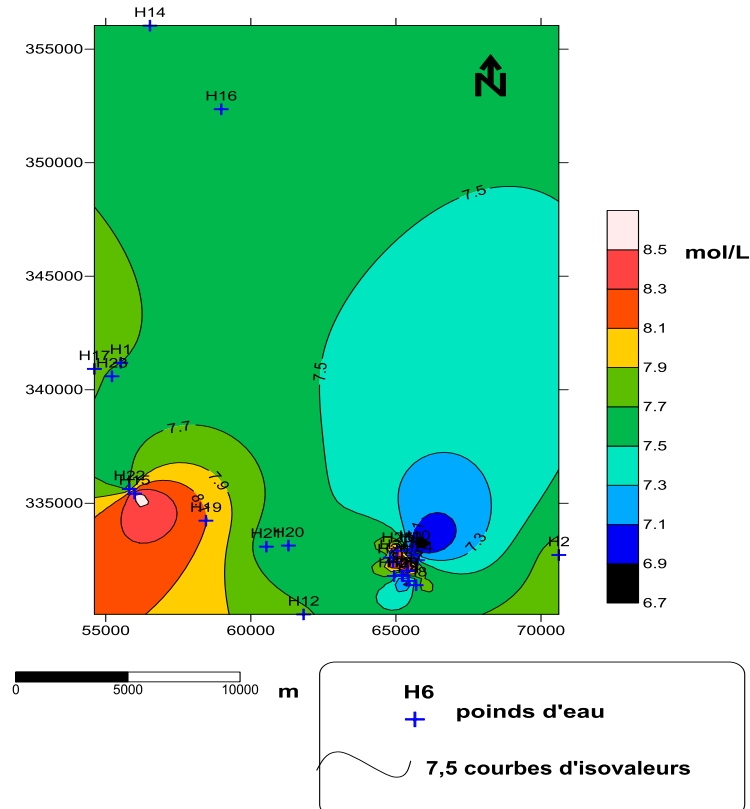


Fig. IV. 2 : Carte de variation des teneurs de pH (mol/l)des eaux souterraines d'El-Oued

III.1.3. La conductivité électrique :

La conductivité électrique est une mesure qui permet un contrôle simple et rapide de la minéralisation des solutions. Elle dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de la teneur en ions dissous, de la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et relatives et à la température à laquelle elle est mesurée.

La conductivité électrique de l'eau de la nappe CT la zone non saturé renseigne sur le degré de la salinité et les risques de salinité des sols. Les mesures de la conductivité pendant d'année 2013 montrent un dépassement de la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable. Elle varie entre 2800 us/cm au Sud-Est de la zone d'étude au niveau du forage H10 et 11970 us/cm au Sud-Ouest (Fig3) ;

La figure montre que la conductivité électrique augmente dans les zones inondées (de 4000 à 12000 us/cm) par rapport aux autres zones. Ceci est lié à plusieurs facteurs tels :

- L'existence d'un réseau de drainage.
- L'évaporation : lorsque le niveau piézométrique est proche de la surface du sol.

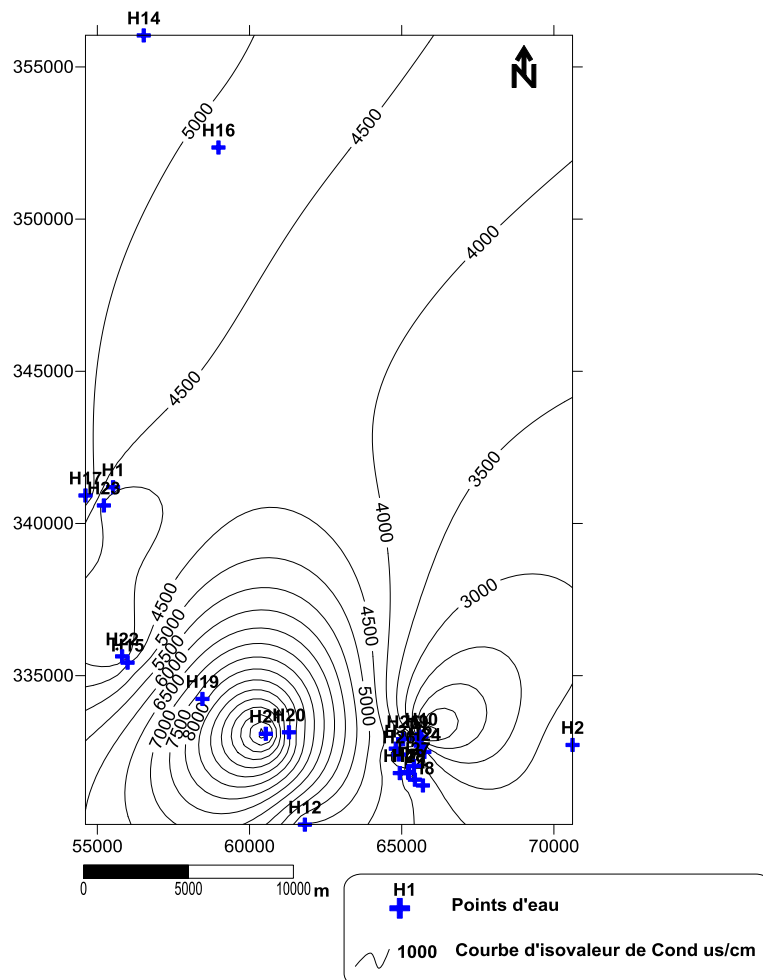


Fig. IV. 3 : Carte d'iso-teneurs en conductivité des eaux souterraines d'El-Oued

III.2. Les éléments chimiques :

III.2.1. Les Cations :

Les cations analysés sont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium.

III.2.1.1. Le Calcium (Ca^{++}): Sa présence résulte principalement de l'infiltration des eaux météoriques à travers des formations carbonatées. La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.



Dans le cas présent, on peut envisager une autre source de minéralisation, engendrée par les formations gypsifères du Trias ($\text{CaSO}_4 ; 2\text{H}_2\text{O}$).

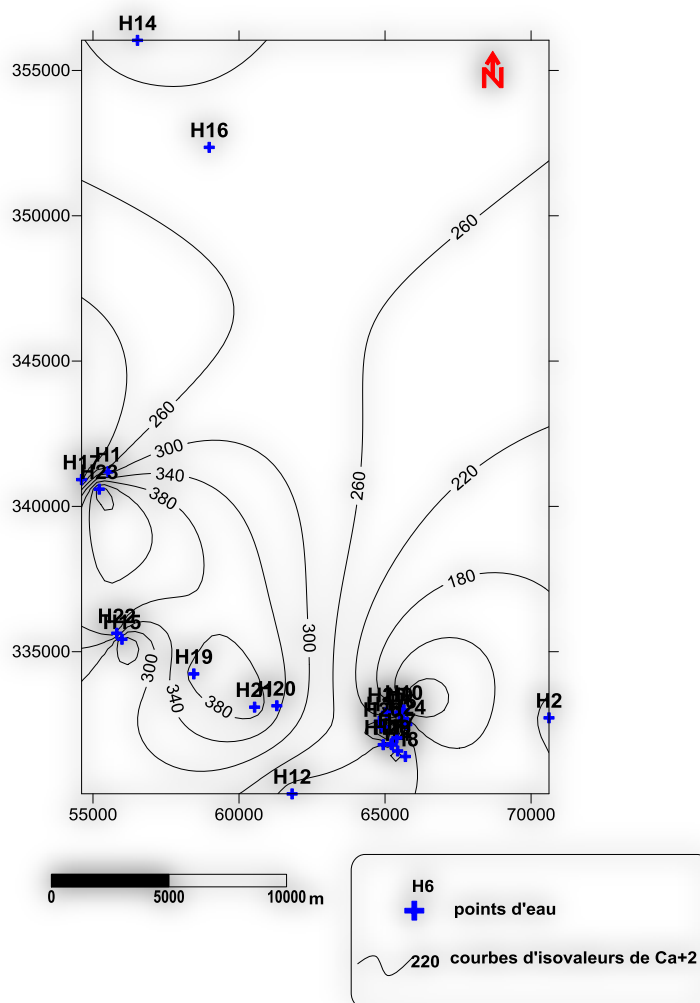


Fig. IV. 4 : Carte d'iso-teneurs en calcium(mg/l)des eaux souterraines d'El-Oued

La carte de répartition du calcium (Fig4.) montre que la valeur maximale est 498,5 mg/l a été enregistrée dans le forage H23 à l'Ouest de la région d'étude, ou les faibles teneurs observées dans la partie Sud-Est dans le forage H10.

III.2.1.2. Le Magnésium (Mg^{++}) :

Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, le magnésium est moins abondant que le calcium et le sodium. En effet, la majorité des forages de l'oued présentent des teneurs inférieures à la norme admissible de 50 mg/l, fixée par l'OMS.

Il faut avoir deux origines :

- Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique.
- La dissolution du $Mg SO_4$ des terrains gypseux du Trias.

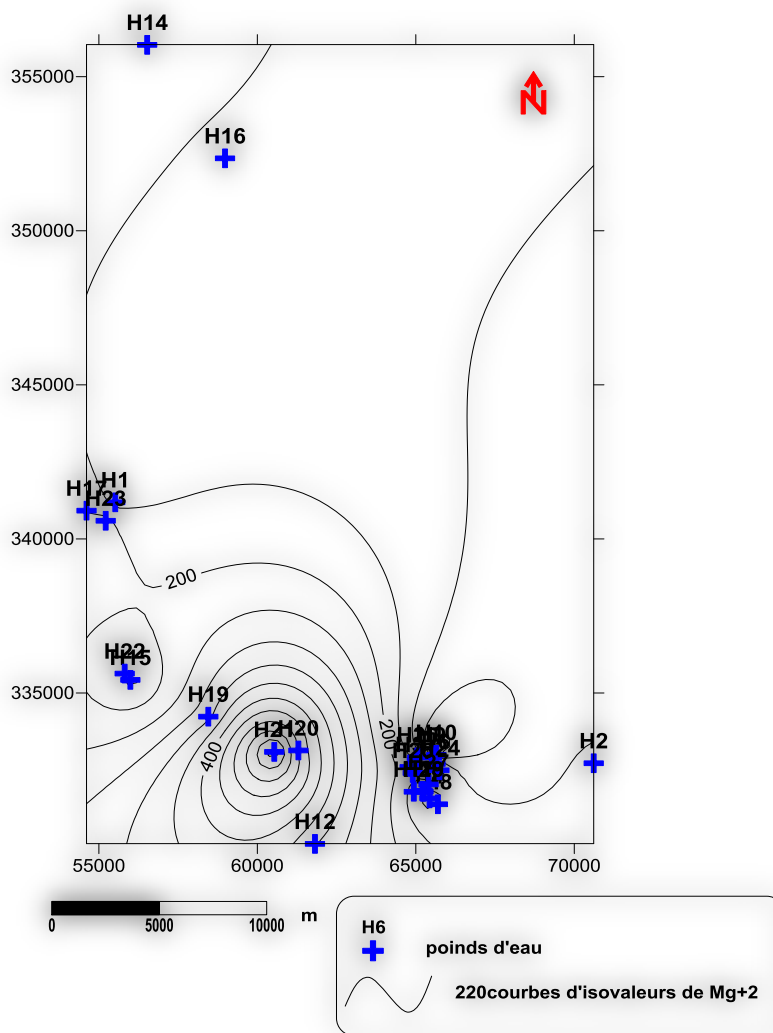


Fig. IV.5 : Carte d'iso-teneurs en magnésium(mg/l) des eaux souterraines d'El-Oued

L'allure de la carte de répartition du magnésium (Fig. 5) est à peu près semblable à celle du calcium. Son trait dominant réside dans le fait que les teneurs les plus élevées se localisent dans les zones d'épandage d'engrais (partie Nord-Est de la région), où on note des maxima de 627,2 mg/l au forage H2, et 471 mg/l au forage H2.

III.2.1.3. Le sodium et le potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) :

Les teneurs en sodium admises par l'O.M.S. sont de l'ordre de 100 mg/l tandis que celles du potassium, très souvent en très faibles quantités dans les eaux, ne présentent pas d'inconvénient majeur.

Mis à part la dissolution de couches salifères, le sodium dans les eaux peut provenir :

- Du lessivage des formations riches en NaCl (argiles- marnes),
- Des eaux usées d'origine industrielle et domestique,
- De l'invasion d'eau marine.

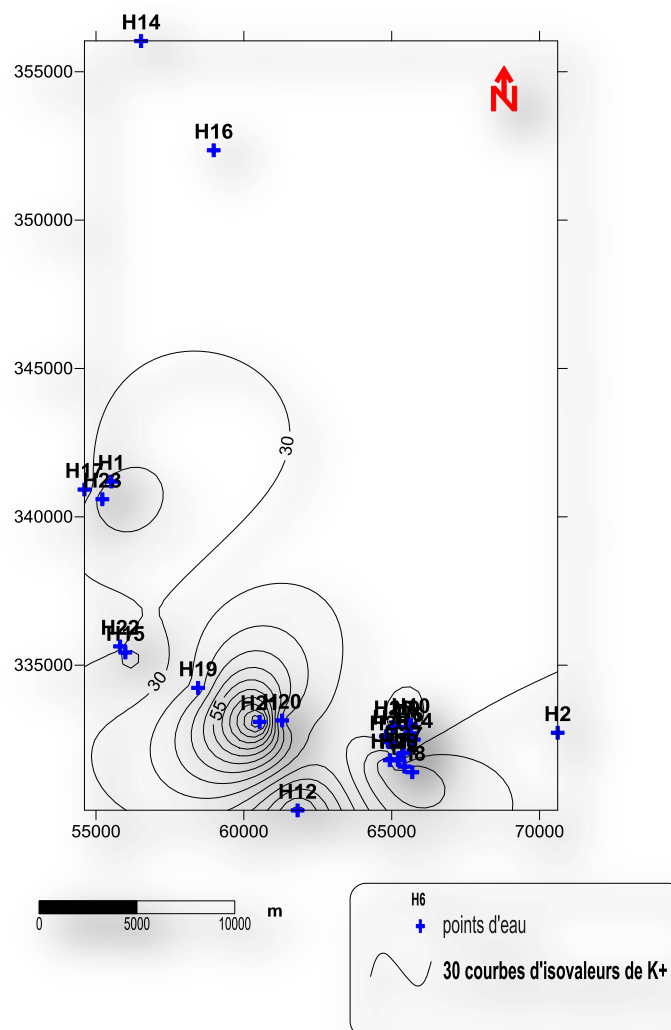


Fig. IV. 6 : Carte d'iso-teneurs en potassium (mg/l) des eaux souterraines d'El-Oued

L'interprétation de la carte de répartition du potassium (Fig.6)

concentration de potassium varie entre 7 mg/l au forage H12 situé au Sud de la carte de potassium et 87.5 mg/l au forage H21

les concentrations sont très élevées. Cette élévation est due à l'infiltration des eaux usées.

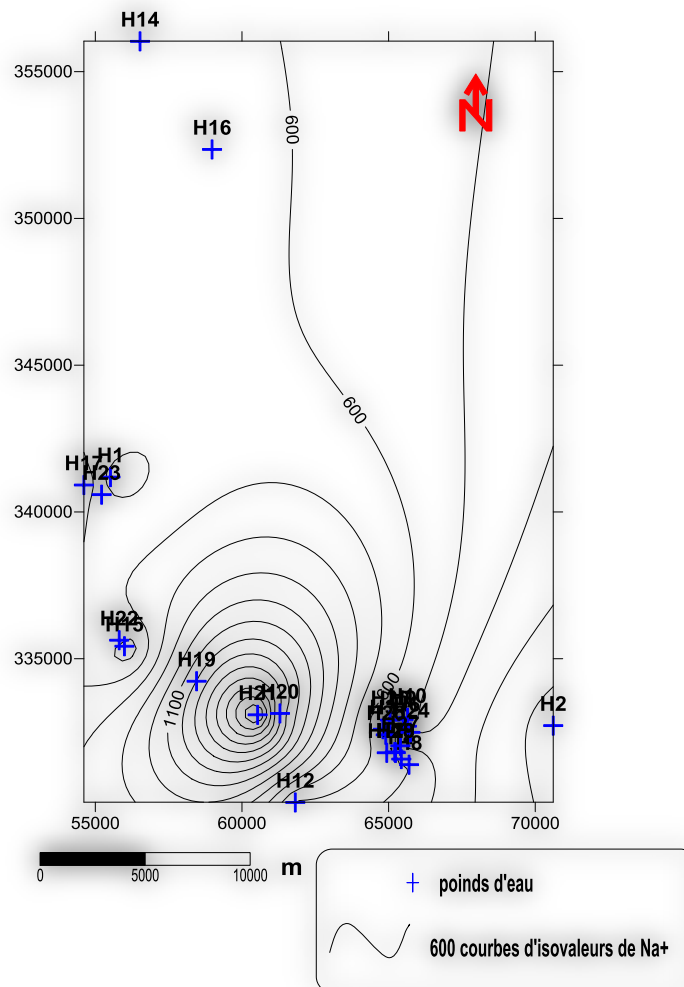


Fig. IV.7 : Carte d'iso-teneurs en sodium (mg/l) des eaux souterraines d'El-Oued

Pour les échantillons analysés, la concentration de sodium à une valeur minimale de 142,5 mg/l au forage H2 et une valeur maximale de 1362 mg/l au forage H20. ou les faibles teneurs observées dans la partie Est de la région variant entre 100-400 mg/l (Fig.7).

III.2.2. Les Anions :

Les anions analysés sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates.

III.2.2.1. Les Chlorures (Cl-) :

L'examen de la carte de chlorures montre que les teneurs de calcium varient entre 120,54 mg/l (forage H10) et 3400 mg/l (forage H23).

Dans les zones étudiées, les concentrations sont très élevées à cause de l'infiltration des eaux usées dans la nappe CT.

D'après l'OMS on constate qu'on a un dépassement de la norme.

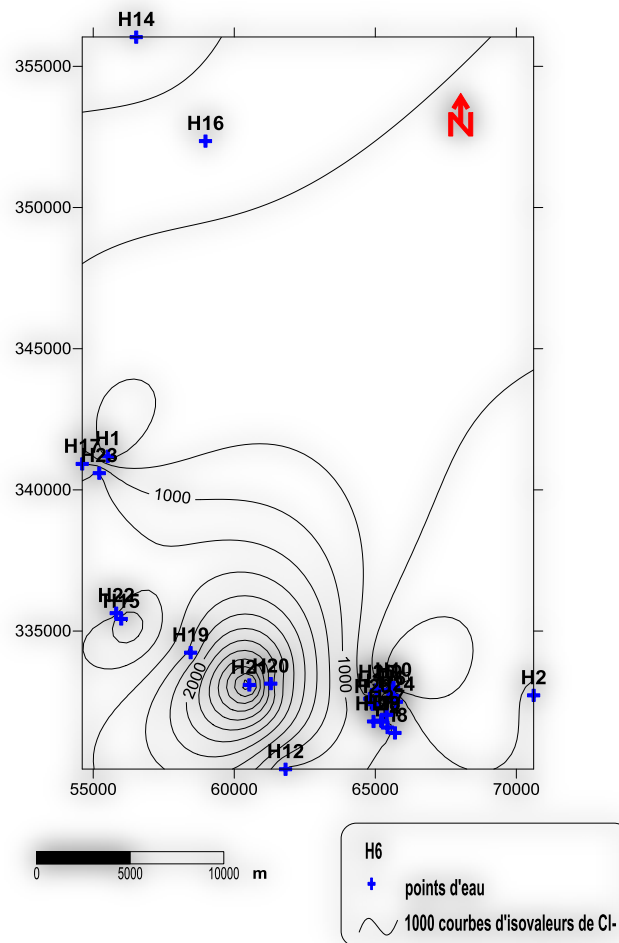


Fig. IV. 8 : Carte d'iso-teneurs en chlorures(mg/l)des eaux souterraines d'El-Oued

III.2.2.2.Les Sulfates (SO_4^{2-}) :

Dans la carte de répartition du sulfate les échantillons prélevés ont des teneurs comprises entre 541.44 mg/l (forage H9) et 3125 mg/l (forage H21), ils dépassent 250 mg/l admissible .

D'après la carte de répartition de cet élément (Fig.9), les valeurs les plus élevées se situent au Sud- Est; par contre les valeurs moins élevées sont localisées au Nord. Cette augmentation due à l'infiltration des eaux usées dans la nappe CT.

D'après l'OMS on constate qu'on a un dépassement de la norme.

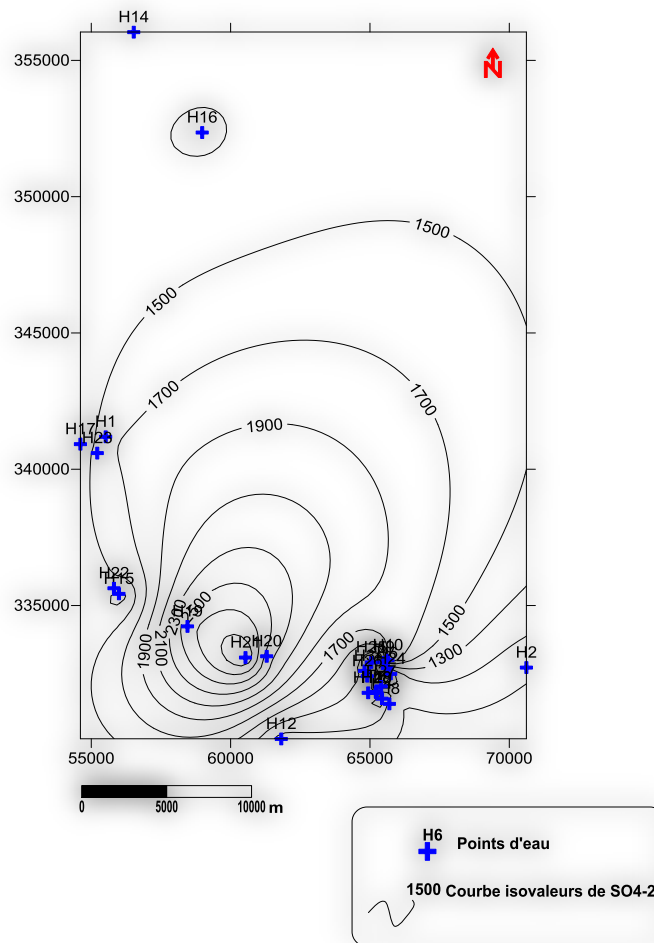
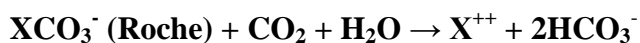


Fig. IV.9 : Carte d'iso-teneurs en sulfates(mg/l)des eaux souterraines d'El-Oued

III.2.2.3. Les Bicarbonates (HCO_3^-) :

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Température de l'eau,
- Tension du CO_2 dissous,
- Concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

D'après la carte de répartition du bicarbonate (Fig10.) on observe que la valeur maximale de 286,7 mg/l a été enregistrée dans le forage H21 à l'est de la région d'étude, ou les faibles teneurs observées dans la partie Sud-Ouest au niveau du forage H22.

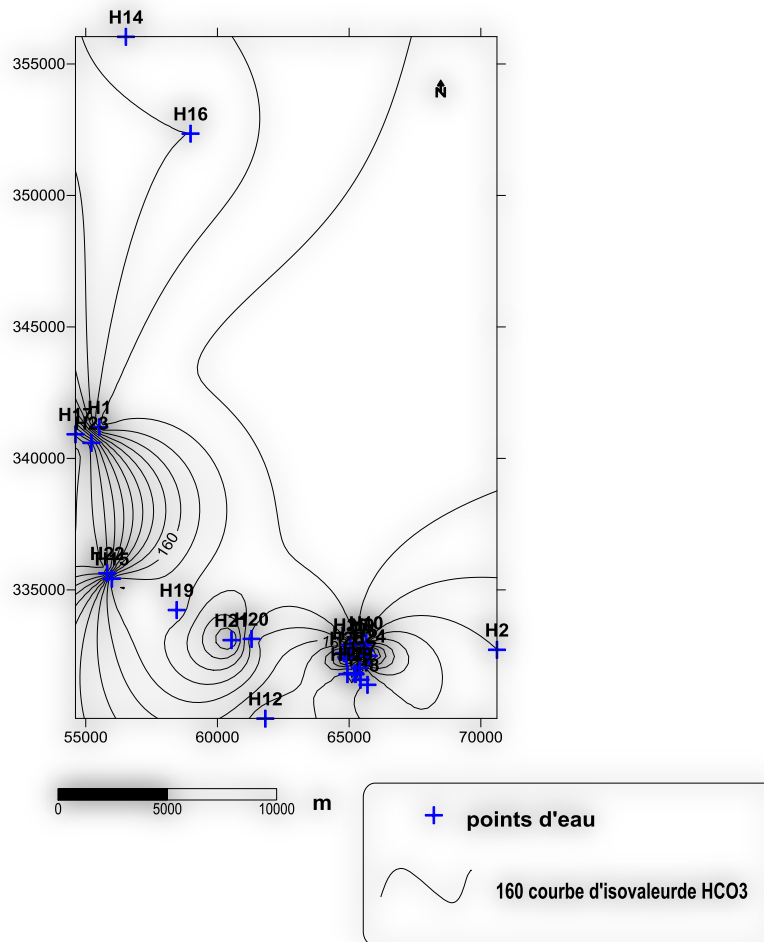


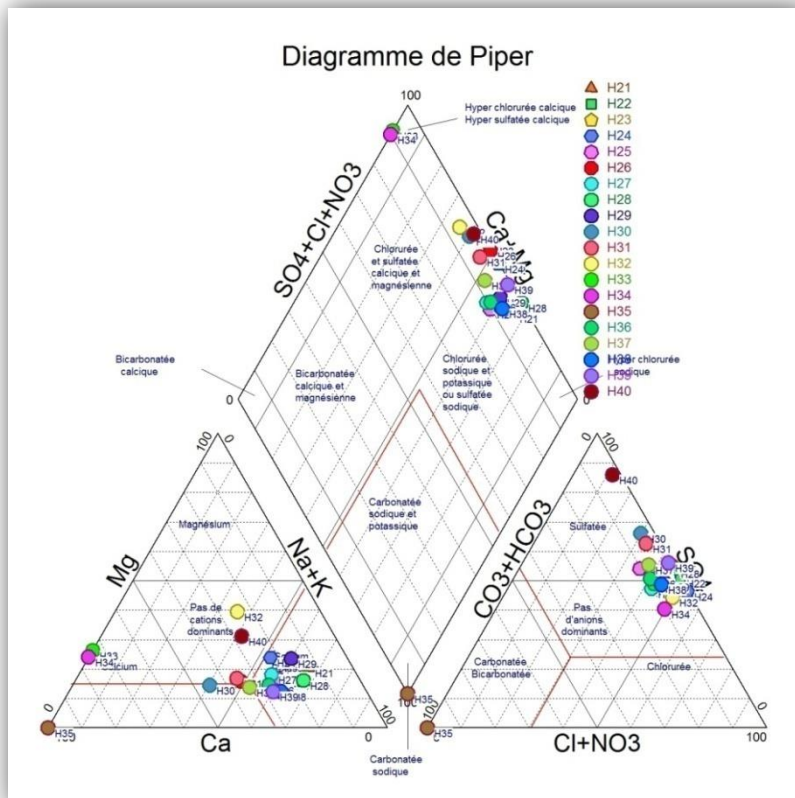
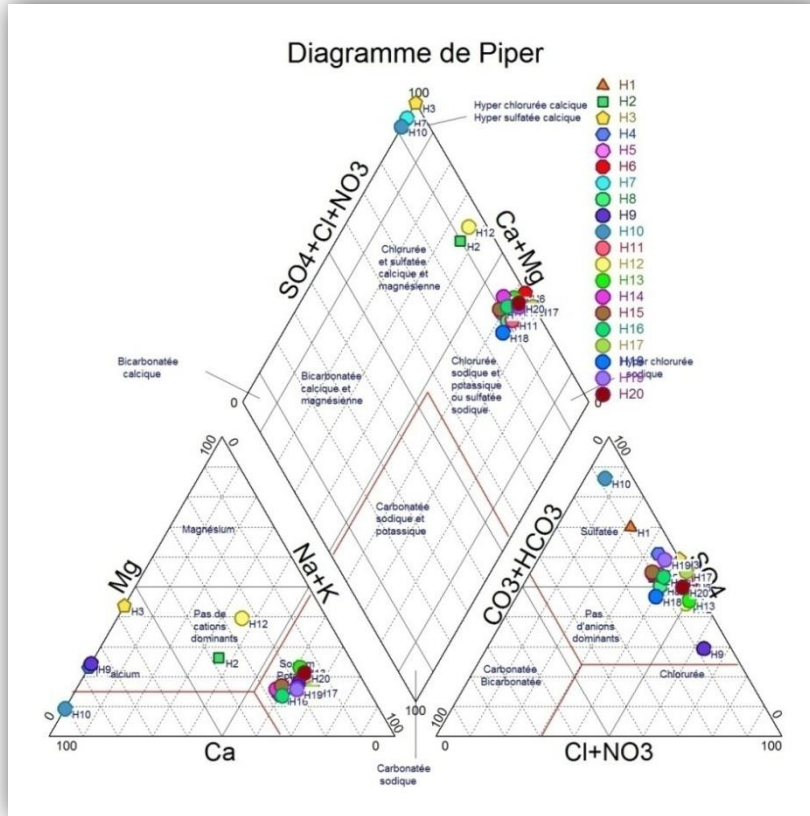
Fig. IV.10 : Carte d'iso-teneurs en bicarbonates(mg/l) des eaux souterraines d'El-Oued

IV. Caractéristiques chimiques des eaux :

IV.1.Diagramme de PIPER :

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée :

A partir du diagramme de Piper nous remarquons que la plus part des eaux analysées à l'échelle de notre zone d'étude présentent un faciès sulfaté sodique à chloruré sodique en liaison avec la nature lithologique des terrains aquifères.



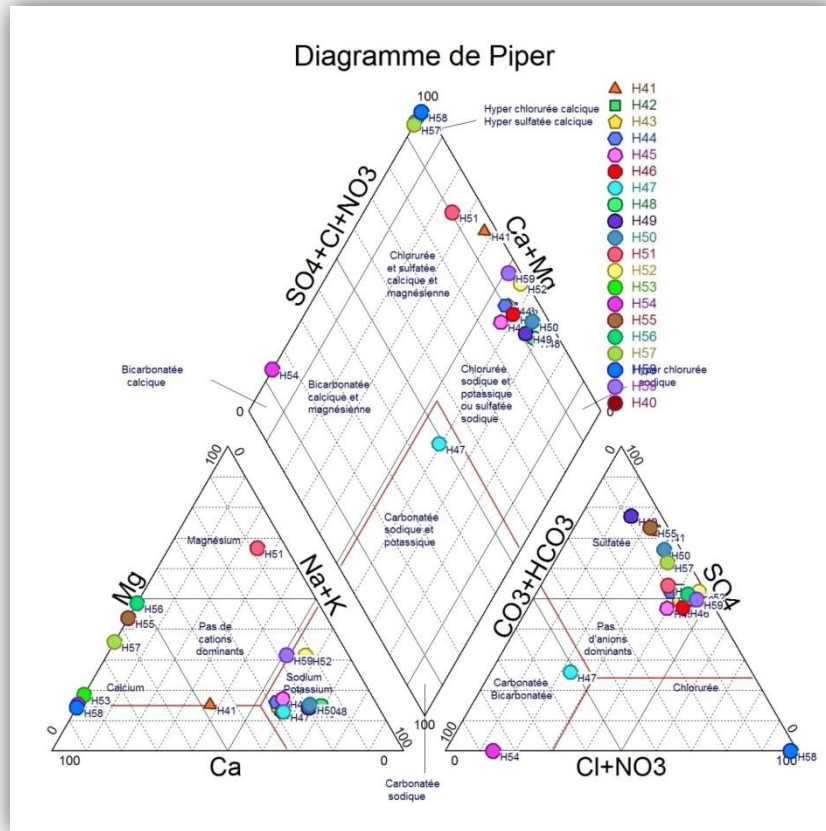
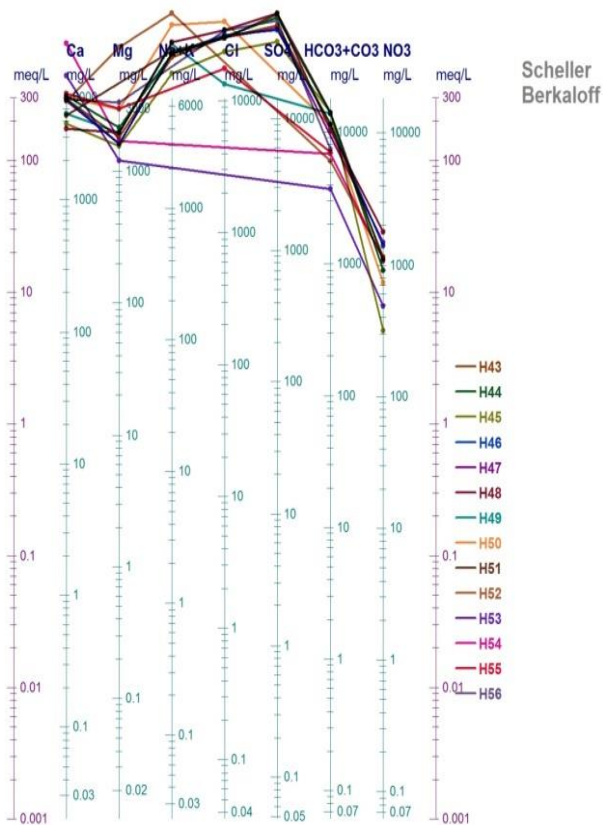
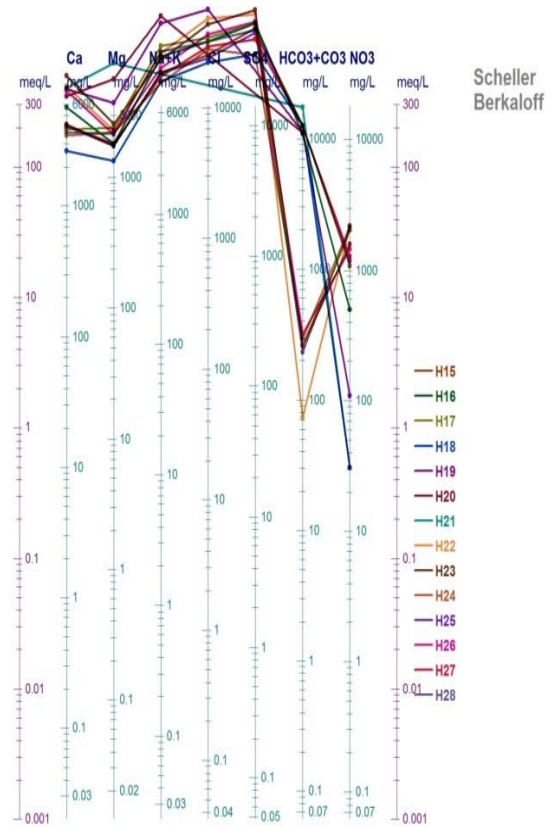
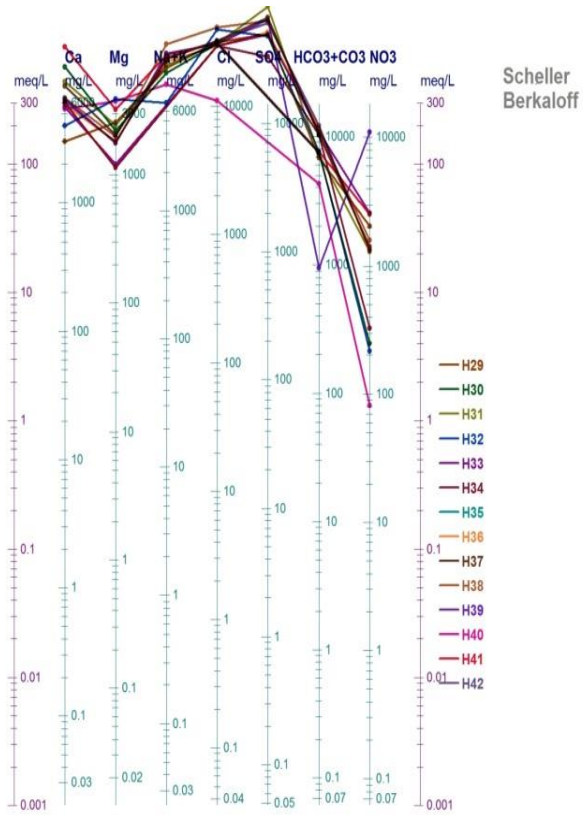


Fig.IV.11 : Le diagramme de Piper des eaux souterraines de la région d'El Oued

IV .2. Diagramme de Diagramme Schoeller Berkloff :

Le diagramme de Schoeller Berkloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique. Il y a superposition des droites obtenues si les concentrations sont identiques et décalage relatif des droites les unes au dessus des autres dans le cas contraire.



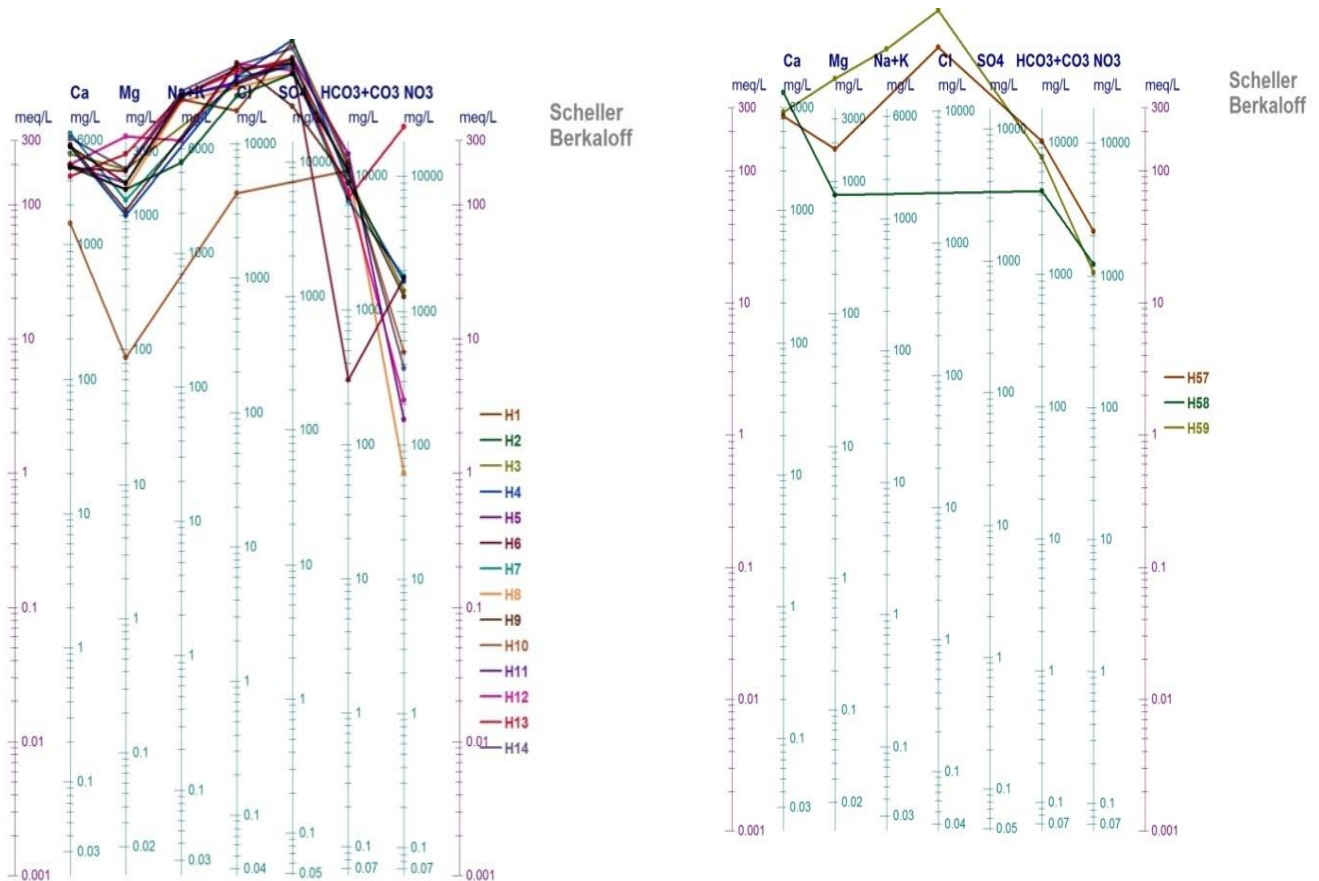


Fig. IV.12.- Diagramme SchoelerBerkaloff

Pour tout le diagramme Schoeler Berkaloff, il est noté qu'il existe une grande variation entre les teneurs des eaux issues des forage de la nappe CT, mais en général on a le même faciès qui prédomine le sulfaté sodique à chloruré sodique.

IV.3.Répartition des faciès chimiques:

Les analyses chimiques effectuées sur les 59 échantillons montrent que :

-Les faciès chimiques prédominant sont chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique..

- 71,18%échantillons ont un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfatée sodique..
- 18,81% échantillons ont un faciès chloruré et sulfatée calcique et magnésienne

Tableau (IV.1) : Faciès chimiques et formules ioniques (2013)

Point d'eau correspondant	Pourcentage de point (%)	Faciès chimique
H1.H4.H5.H6.H8.H9.H11.H13.H14.H15.H16.H17.H18.H19.H20.H21.H22.H24.H25.H27.H28.H29.H35.H36.H37.H38.H39.H42.H43.H44.H45.H46.H47.H48.H49.H50.H52.H53.H54.H55.H56.H59	71,18	chloruré sodique et potassique ou sulfatée sodique
H2.H3.H7.H10.H12.H23.H26.H30.H31.H32.H33.H34.H40.H41.H51.H57.H58	18,81	chloruré et sulfatée calcique et magnésienne

V. Etudes les rapports caractéristiques et l'origine des éléments chimique :

V.1. Origine de sodium : l'examen des figures 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 d'un excès de la dissolution de cet élément.

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

V.3. Le couple $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$: Le graphe montre un alignement des points, ce qui implique la même origine des deux éléments chimiques qui est probablement la dissolution de Halite. Cependant, quelques points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures. Cette relation se confirme par l'existence du faciès chloruré sodique. (Fig13).

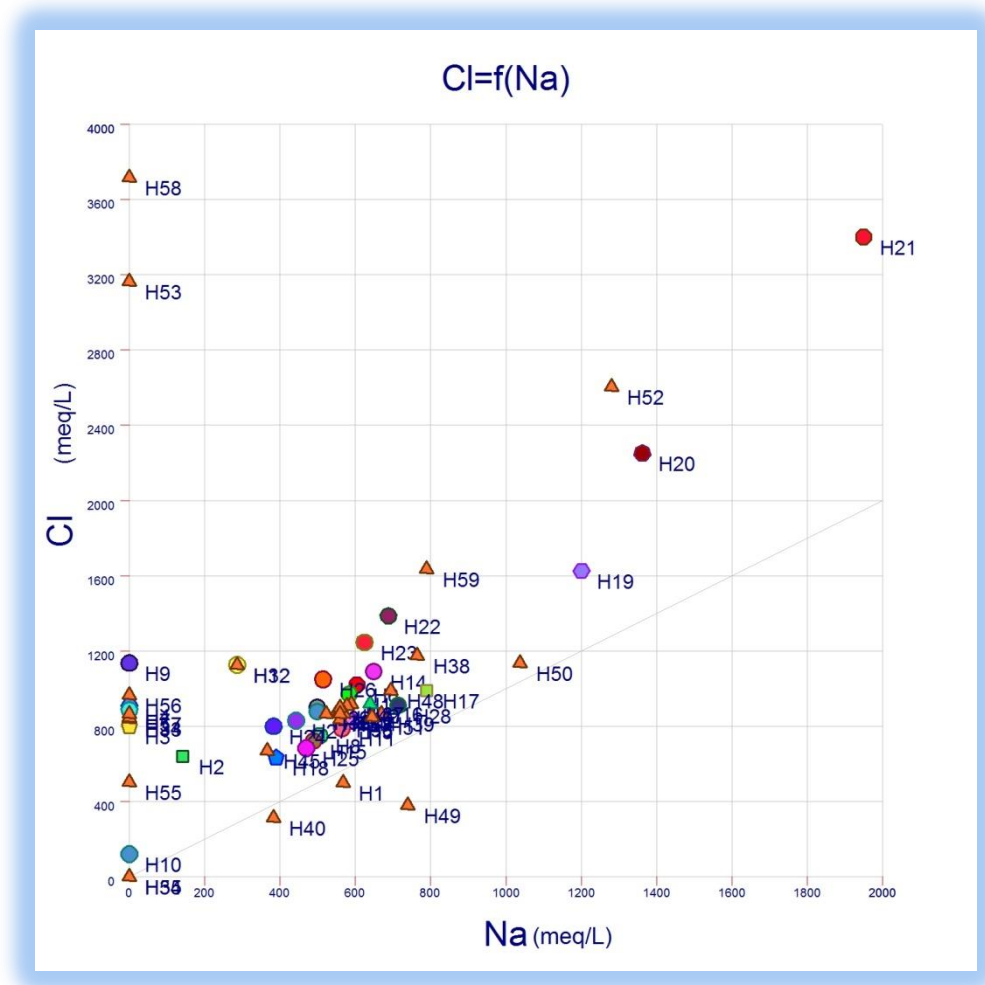


Fig. IV. 13 : Couple Na^+ et Cl^-

V.4. Le couple Ca^{++} - SO_4^{2-} : On remarque deux familles distinctes, l'une caractérise une eau forte teneur en calcium (au sud de la plaine) due au lessivage des formations carbonatée, et l'autre en sulfate (vers l'ouest de la plaine) qui résulte probablement par le lessivage des niveaux gypseuses(fig14) .

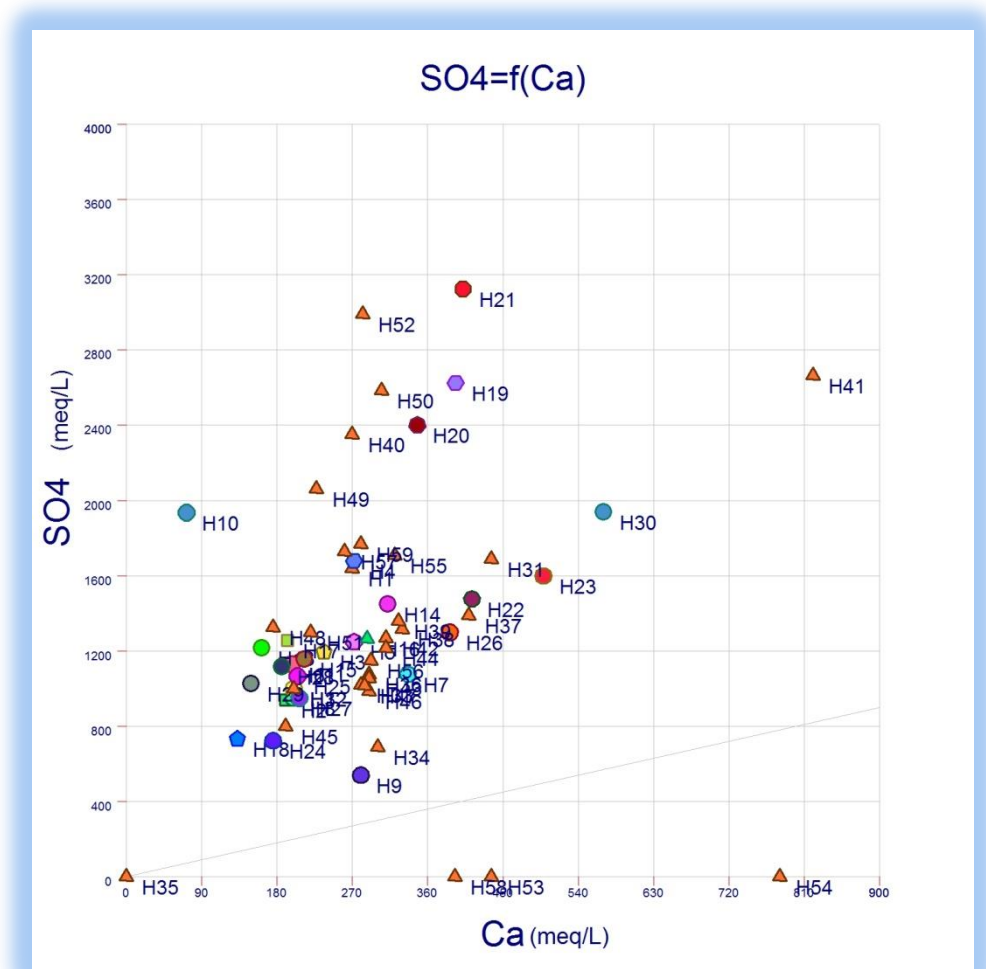


Fig. IV.14 : Couple SO_4^{+2} et Ca^{+2}

V.5. La relation $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^-$:

On remarque que la majorité des points présentent un excès de sulfates vis-à-vis le sodium (toujours vers le Sud de la plaine), due à une alimentation minérale latérale l'oued au Nord l'Oust de la plaine(fig15) .

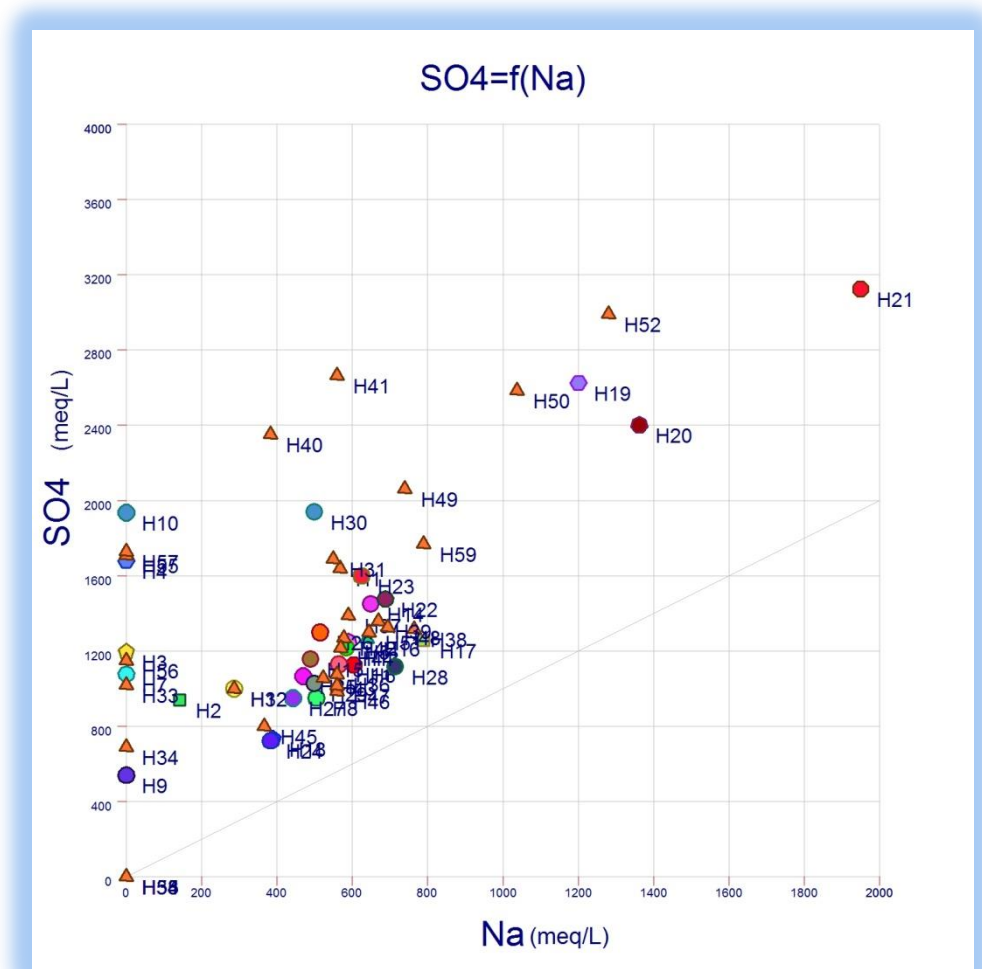


Fig. IV.15 :La relation $Na^+ - SO_4^-$

V.6. La relation $Ca^{++}-Mg^{++}$:

Suivant la figure (IV.16) nous constatons qu'il y a une bonne corrélation entre les deux éléments ce qui nous permet de dire qu'ils ont la même origine (origine carbonaté) à l'exception de quelques points qui présentent des teneurs forte de calcium (Sud-Est de la plaine),les points mettant en solution rapidement les ions Mg^{++} par rapport à ceux de Ca^{++} c'est une dissolution sélective.

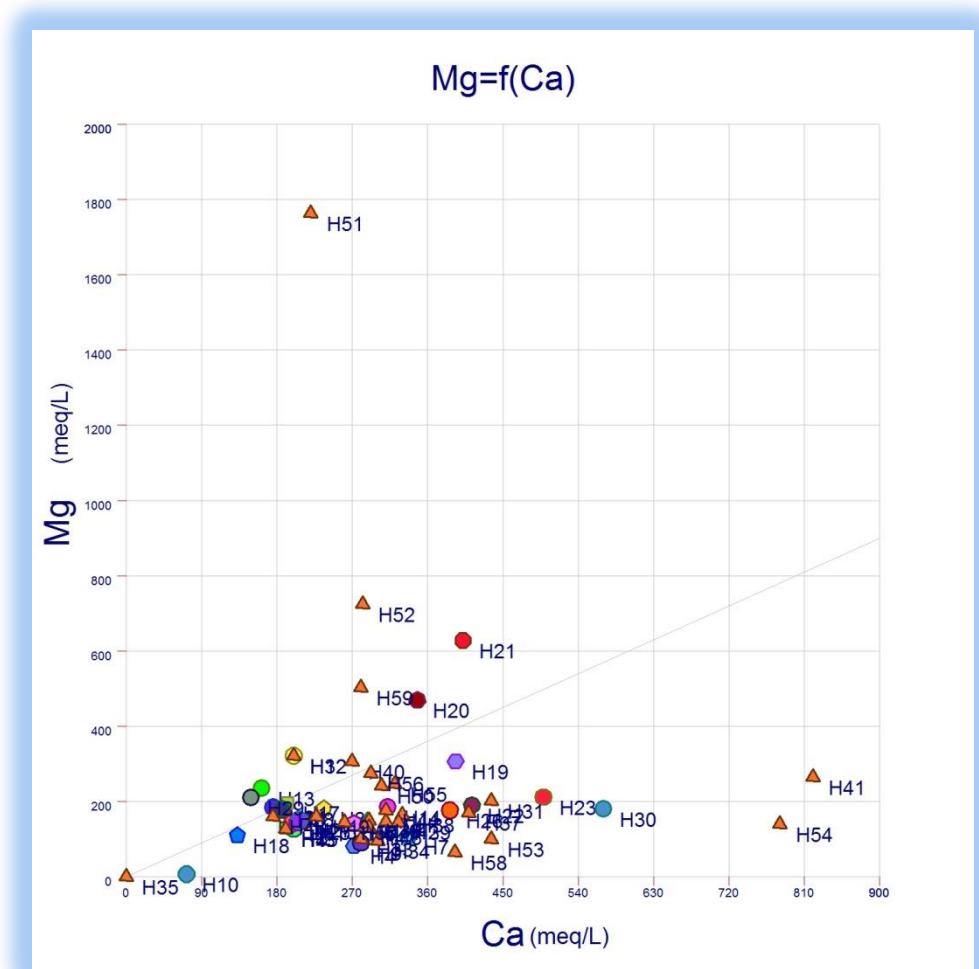


Fig. IV.16 :La relation Ca^{++} - Mg^{++} (2013)

V.7. L'échange de base :

L'indice d'échange de base défini par SCHOELLER en 1934 est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation suivante : Si

$$i. e. b = \frac{rCl^- - r(Na^+ + k^+)}{rCl^-}$$

avec Cl, Na, et K en (még/l).

Si l'i.e.b est négatif, les ions Ca^{++} et Mg^{++} de l'eau sont échangés contre les ions K^+ et Na^+ des formations encaissantes. Par contre si l'i.e.b est positif, les ions Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{++} et Ca^{++} des formations encaissantes. Dans le cas où l'i.e.b est négatif c'est-à-dire lorsqu'il y a échange des alcalino-terreux de l'eau contre les alcalins des permutolites, il est préférable de calculer l'i.e.b par la formule suivante :

$$i. e. b = \frac{rCl^- - r(Na^+ + k^+)}{rSO_4^- + rHCO_3^- + rNO_3^-}$$

L'utilisation de cet indice est importante car il met en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain.

La projection des différents points sur le diagramme $\text{Ca}^{2+}/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) - \text{Na}^+/\text{Cl}^-$ (Fig.17) montre que % des points d'eau subissent un échange de base des points présentent un excès en Ca^{2+} par rapport aux ions HCO_3^- et SO_4^{2-} du sûrement aux formation gypseuses qui fournissent plus d'ions Ca^{2+} .

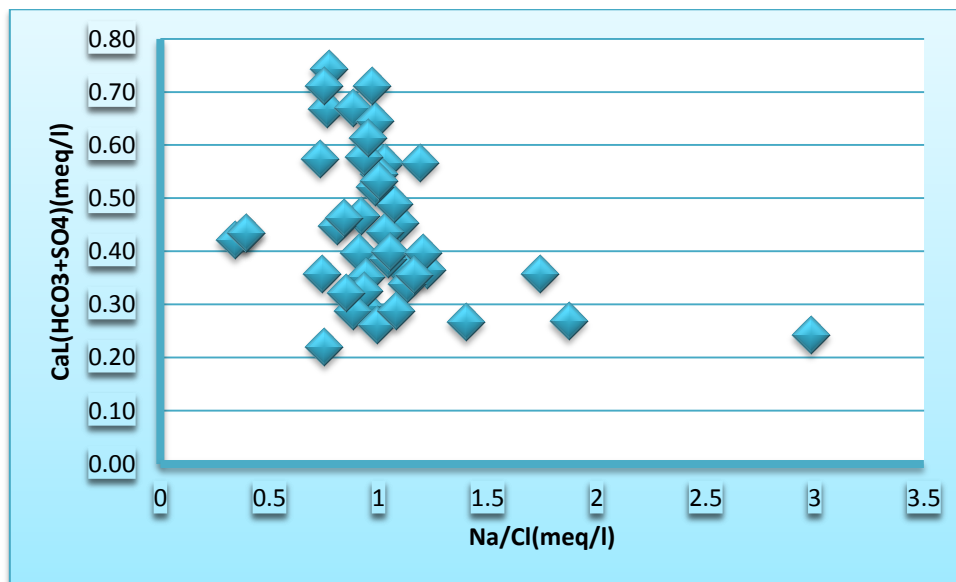


Fig. IV.17 Echange de base (2013)

V.8. Le couple $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$: Fig. (18)

On examine ici l'origine du calcium en fonction de deux éléments chimiques (bicarbonates et les sulfates) qui indiquent ses deux origines principales (carbonates et le gypse) Fig. (18). La représentation graphique de l'évolution de calcium en fonction des bicarbonates, montre un ensemble regroupés des points selon la droite, indiquant l'origine carbonatée des ions de calcium. Par contre le point reste présente un excès en teneur en calcium interprété comme le résultat de la mise en solution du gypse.

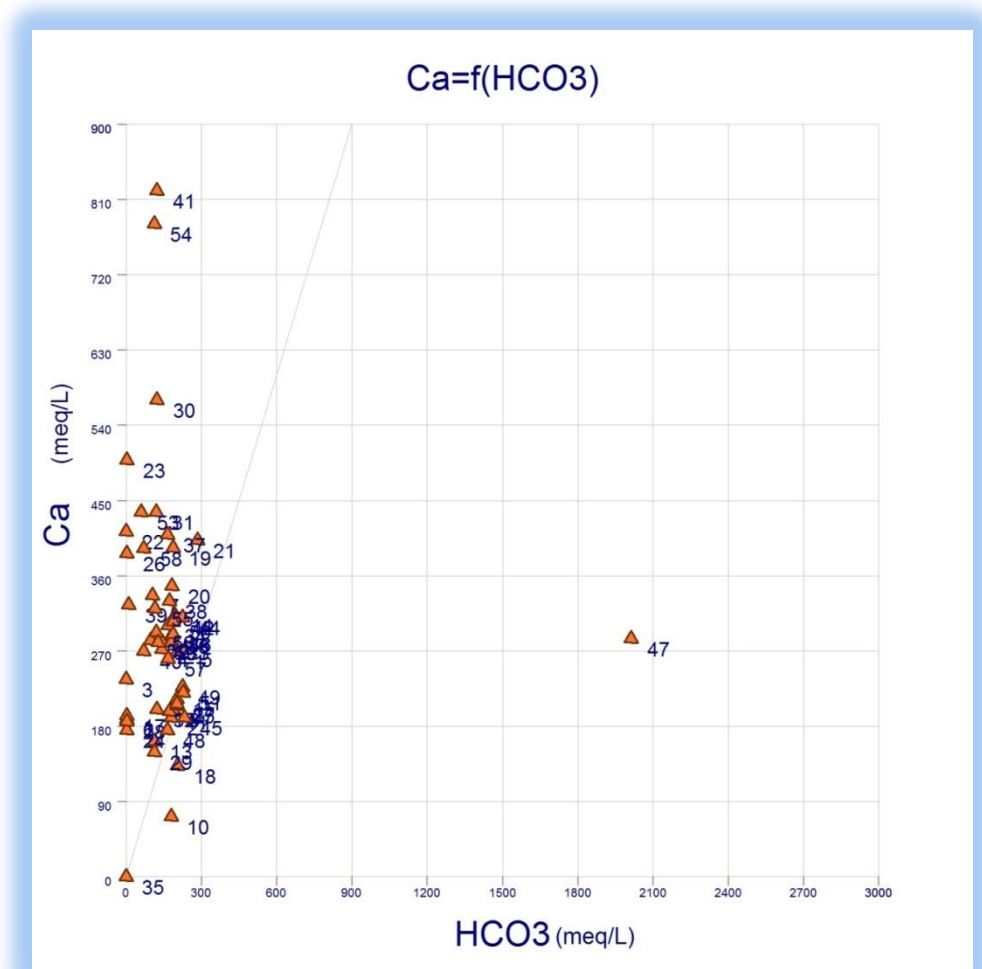


Fig. IV. 18 : couple Ca^+ et HCO_3^- (2013)

V.9. Le couple Ca^{+2} - $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$: Fig. (19)

Pour déterminer l'évolution de calcium en fonction des bicarbonates et sulfates, une représentation graphique des teneurs en Ca^{2+} en fonction de $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ a été réalisée (Fig. 19). Cette dernière fait apparaître deux évolutions : un excès en Ca^{2+} indiquant l'origine évaporitique de Ca^{2+} par le gypse et d'autre part, on observe une évolution linéaire interprétée comme le résultat de la dissolution des formations carbonatées.

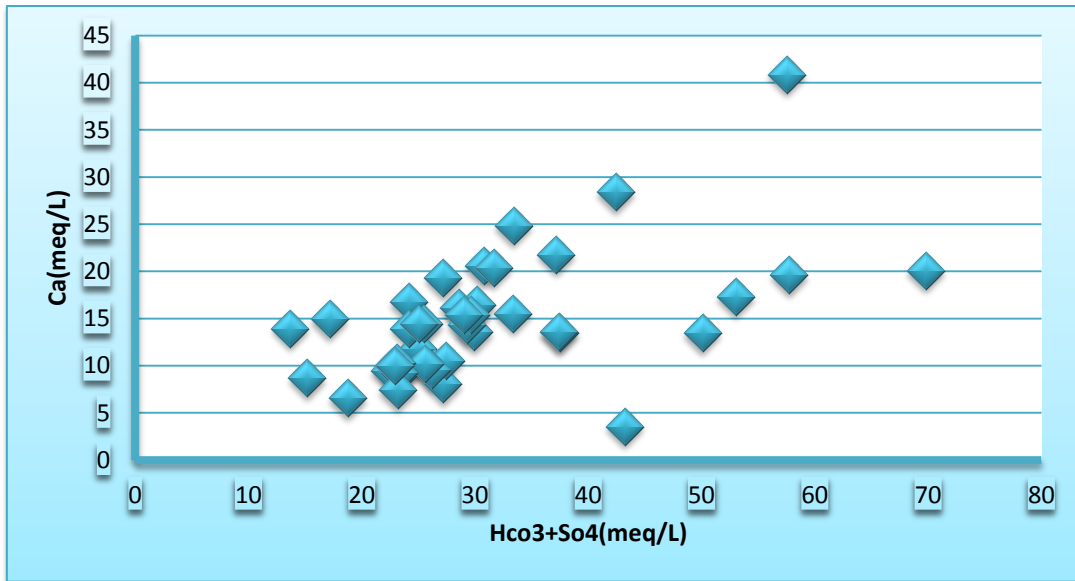


Fig.IV.19.Le couple Ca^{+2} -(HCO_3^- + SO_4^{2-})

VI. La pollution des eaux de la nappe CT d’El-Oued :

VI.1. Identification de la salinité des eaux de la nappe CT 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 (Sp) 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 :

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

Le pourcentage en sodium est donné par :

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

VI.2. Carte d’aptitude des eaux de nappe CT selon le diagramme de Richard :

d’après les cartes (fig. 20 , fig. 21) on observe que les valeurs les plus élevées se situées 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 de la plaine d’El-Oued.

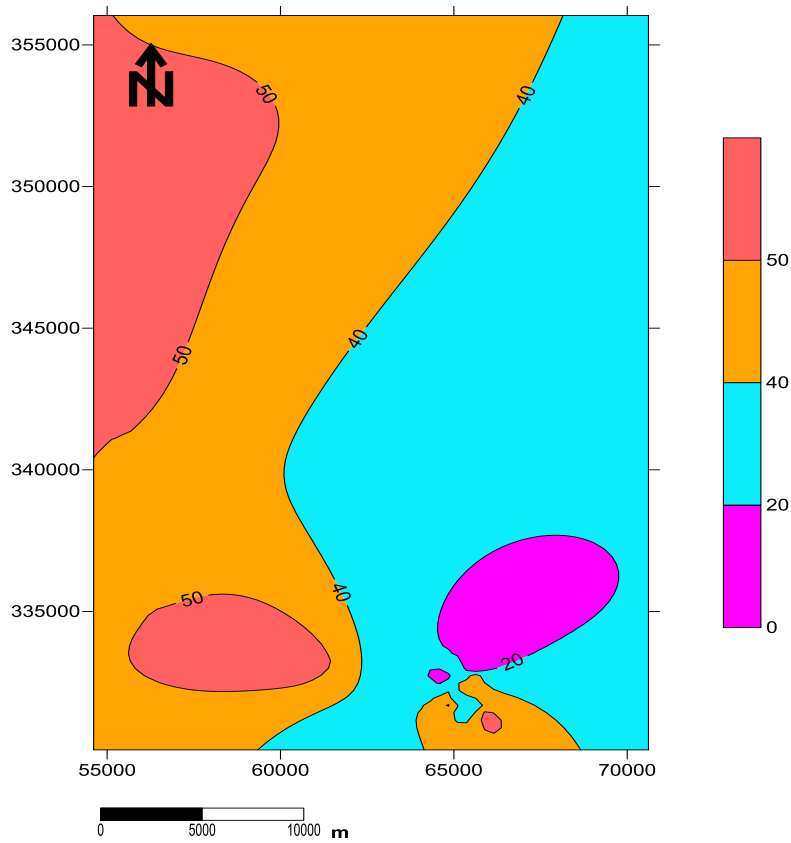


Fig. IV.20 : Carte de Na% des eaux souterraines de la région d'El-oued

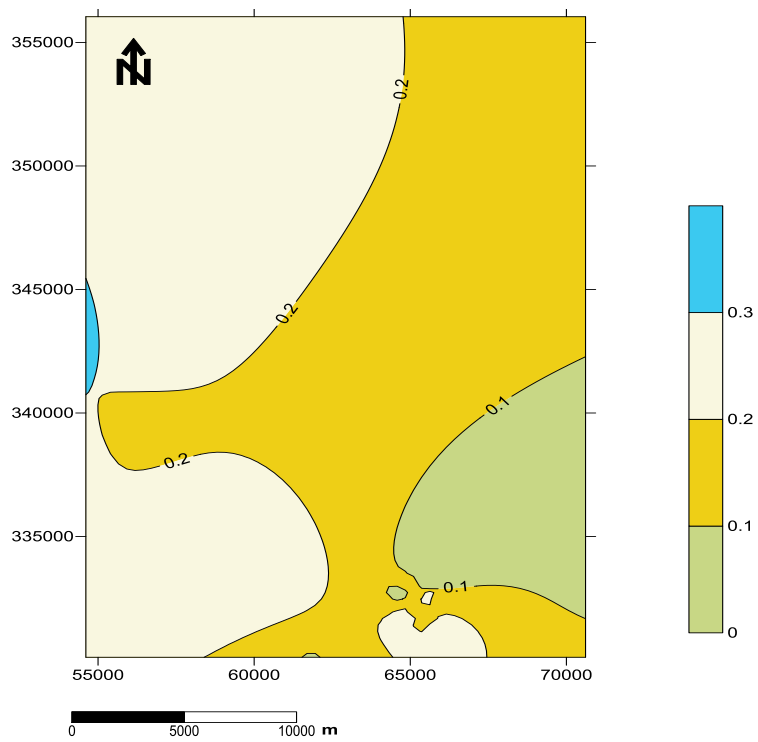


Fig.IV. 21: Carte de zonation par SAR des eaux souterraines de la région d'El-oued

VI.3.La salinité : La carte fait ressortir deux catégories d'eaux :

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

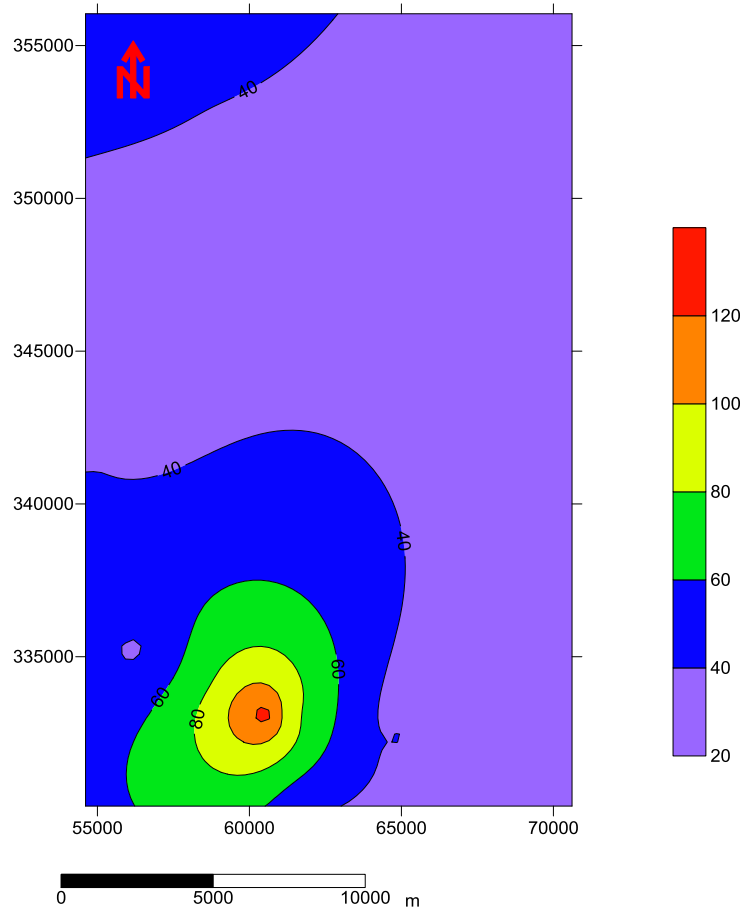


Fig. IV.22 : Carte de salinité des eaux souterraines de la région d'El-oued

VI.4.Polluant NO_3^- :

D'après la carte de nitrate 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 Sud-Ouest de la région d'étude (H7, H22,H17,H23) puis elles augmentent vers le centre et le Sud-Est de la plaine d'El-Oued avec un maximum de 286,7 mg/l.

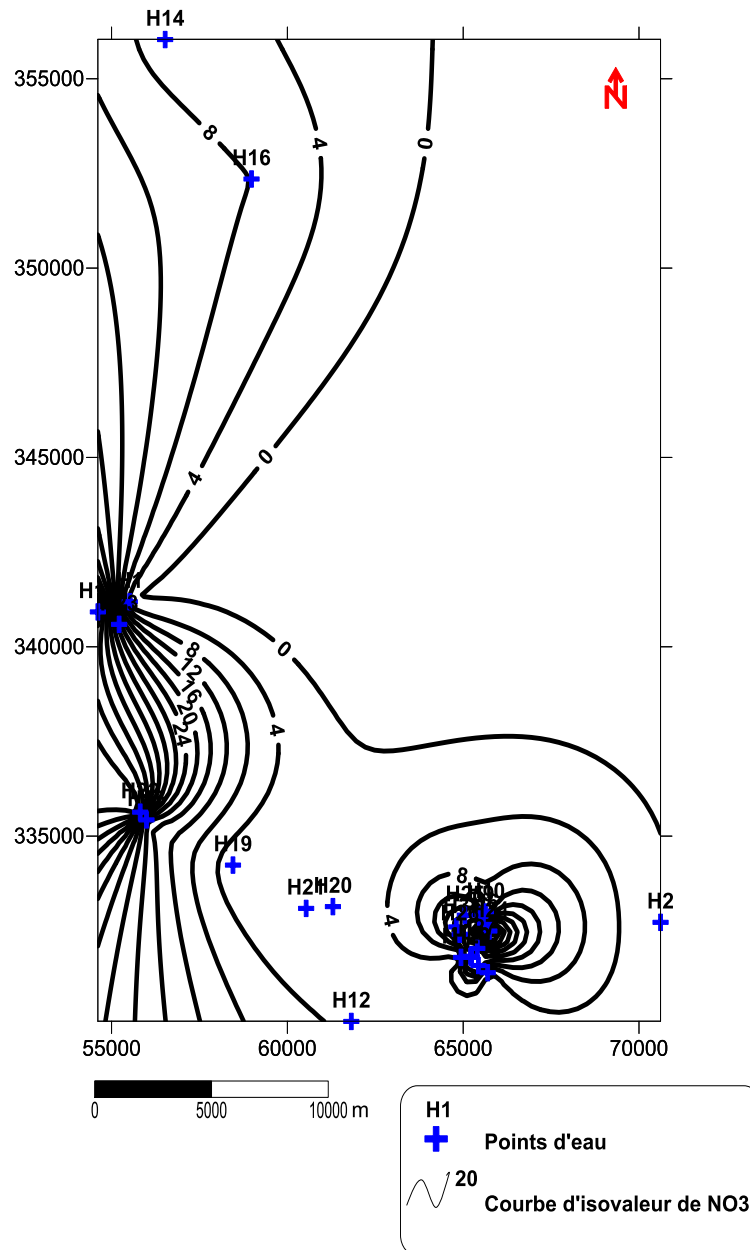


Fig.IV. 23 : Carte de variation des teneurs NO_3^- (mg/l) des eaux souterraines d'El-oued

V. 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.

Chapitre-V

Vulnérabilité de la nappe a la pollution

I. Introduction :

Les cartes de vulnérabilité aux pollutions constituent une base d'information essentielle pour la gestion des ressources en eau, pour l'évaluation des risques de pollution des nappes et la mise en place de mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles.

Les caractéristiques à prendre en compte pour l'évaluation de la vulnérabilité sont de deux sortes : données principales et données secondaire.

Une étude bibliographique montre qu'actuellement, il existe plusieurs méthodes pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines. Les méthodes qui sont développées peuvent être classées en trois groupes :

I.1.Méthodes des systèmes paramétriques : il se compose de trois sous-systèmes qui sont :

I.1.1.Le système matriciel :

Ce système qui est adapté pour une utilisation locale, se base sur un nombre limité de paramètres, judicieusement choisi. On procède à une combinaison de classes pour définir de façon descriptive le degré de vulnérabilité des aquifères.

I.1.2. Le système de classe :

Pour ce groupe on défini un intervalle pour chaque paramètre jugé nécessaire pour l'évaluation de la vulnérabilité, ensuite on subdivise chacun des intervalles retenus en fonction de la variabilité du paramètre en question. Le score final qui résulte de la sommation (ou multiplication) de chaque note attribuée pour les différents paramètres devrait être subdivisé par le nombre de classes retenu.

I.1.3.Le système des classes pondérées:

Ce groupe de méthodes est basé sur l'affectation de notes aux paramètres qui sont retenus jugés nécessaires pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines en définissant des intervalles comme c'est le cas pour les autres méthodes citées auparavant. Par la suite une pondération est attribuée pour chaque paramètre selon son importance dans l'évaluation de la vulnérabilité.

I.1.4.Méthodes de comparaison :

Utilisées essentiellement pour des aires d'étude très étendues et prend en considération 2 à 3 paramètres.

I.1.5.Méthodes des relations analogiques et modèles numériques :

Basées sur des lois mathématiques simples ou complexes. Conseillées pour l'évaluation de la vulnérabilité des sites radio actifs.

II. Application de la méthode GOD (Foster 1987) :

II.1. Présentation de la méthode :

Ce système a été développé par Foster, il est illustré par la Fig. N°(1). Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères :

- Type de nappe (Groundwater occurrence).
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Overall aquifer class).
- Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table).

Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère.

L'indice de vulnérabilité est obtenu selon l'équation suivante : $I = C_G * C_O * C_D$ où

C_G = cote du type d'aquifère, C_O = cote de la lithologie, C_D = cote de la profondeur à la nappe.

La vulnérabilité augmente avec l'indice et la classification, elle se fait en cinq classes allant de 0 à 1

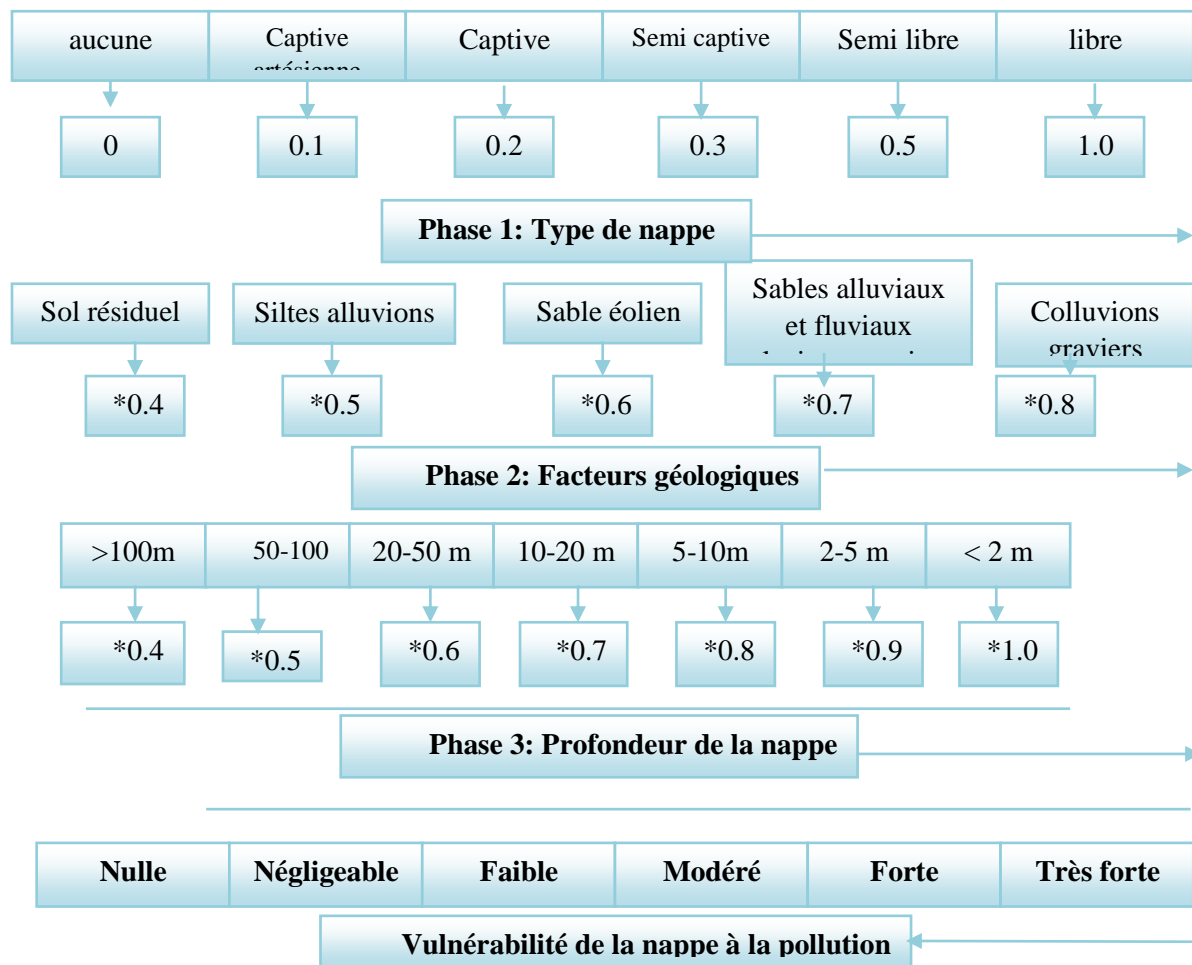


Fig. V.1 : Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (d'après Foster, 1987)

II.2. Préparation des données :

Les cartes des différents paramètres pris en compte pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe ont été choisis à la même échelle (1/25000).

II.3. Digitalisation :

Chaque paramètre a été digitalisé (SURFER 10) et sauvegarder, l'ensemble des données digitalisées constitue la base de données nécessaire pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité.

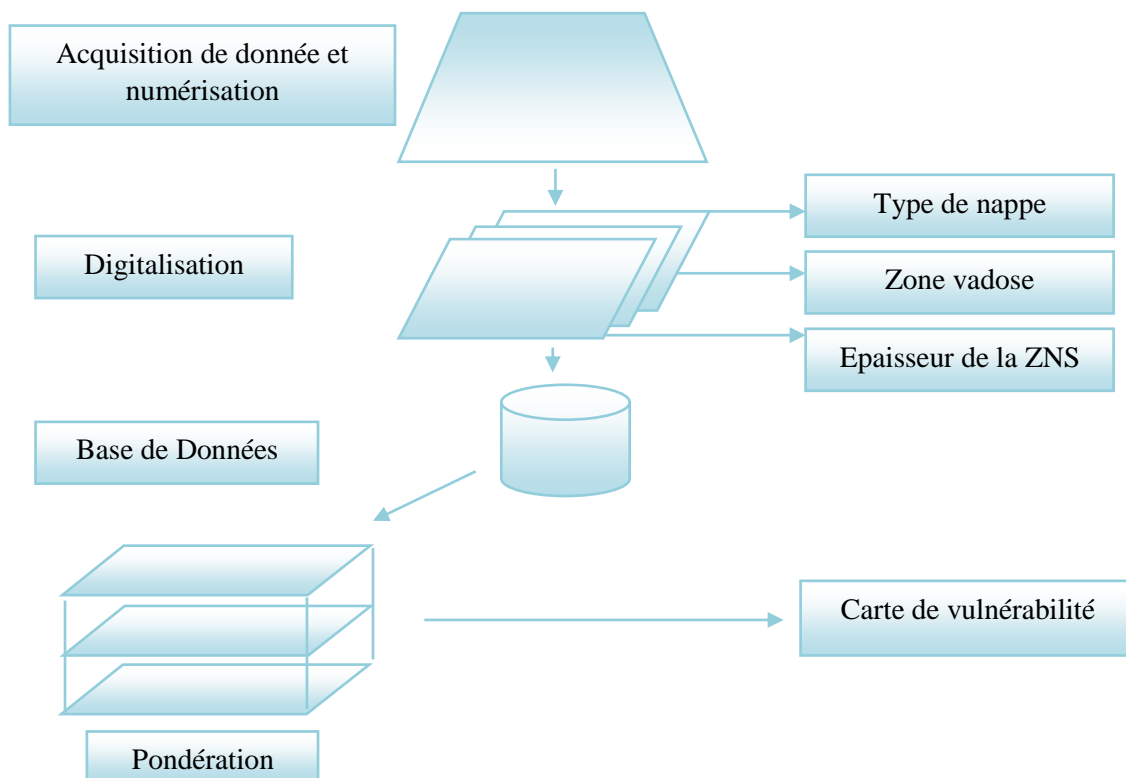


Fig. V.2 : méthode utilisé pour la réalisation de la carte de vulnérabilité

II.4 Profondeur de la nappe :

La profondeur de la nappe est un paramètre important, qui constitue un facteur déterminant de la vulnérabilité. Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met de temps à atteindre la surface piézométrique.

Pour la nappe d'Oued Souf, ce paramètre a été déterminé pendant les relevés piézométriques.

Le calcul des indices pour ce paramètre a été fait selon le tableau 1.

Tab. V. 1 : Indices des paramètres calculés selon GOD

N : puits	X	Y	TYPE D'AQUIFER	IA	INS	ID	I GOD
H1	55517	341196	Captive	0,2	0,6	0,6	0,072
H5	54579	357047	captive	0,2	0,5	0,6	0,06
H9	65506	332924	Captive	0,2	0,5	0,6	0,06
H10	65646	333001	Captive	0,2	0,8	0,6	0,096
H14	56524	356041	Captive	0,2	0,5	0,6	0,06
H15	55993	335434	Captive	0,2	0,6	1	0,12
H16	58980	352359	Captive	0,2	0,5	0,7	0,07
H17	54610	340926	Captive	0,2	0,5	0,5	0,05
H20	61295	333144	Captive	0,2	0,6	0,8	0,096
H22	55814	335639	Captive	0,2	0,5	0,9	0,09
H23	55215	340598	Captive	0,2	0,5	0,6	0,06
H26	64903	332415	Captive	0,2	0,6	0,6	0,072
H27	65402	332040	Captive	0,2	0,5	0,6	0,06
H29	65237	331809	captive	0,2	0,6	0,6	0,072
H19	58453	334241	captive	0,2	0,5	0,7	0,07
H2	70613	332729	Semie captive	0,3	0,7	0,6	0,126
H3	64805	332608	semie captive	0,3	0,7	0,6	0,126
H7	65210	331834	Semie captive	0,3	0,7	0,6	0,126
H11	64826	331805	Semie captive	0,3	0,7	0,5	0,105
H12	61818	330112	Semie captive	0,3	0,7	0,8	0,168
H4	65433	332608	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H6	65622	331834	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H8	65697	331398	libre	0,85	0,6	0,6	0,306
H13	64339	330889	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H18	65237	331809	libre	0,85	0,8	0,8	0,544
H21	60534	333097	libre	0,85	0,7	0,8	0,476
H24	65745	332500	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H25	65046	332919	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H28	65225	331811	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H60	65495	331387	libre	0,85	0,6	0,6	0,306
H68	65037	331926	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H64	63913	334698	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H65	64042	330807	libre	0,85	0,7	0,6	0,357
H74	65029	332099	libre	0,85	0,6	0,6	0,306
H73	64647	332046	libre	0,85	0,6	0,6	0,306

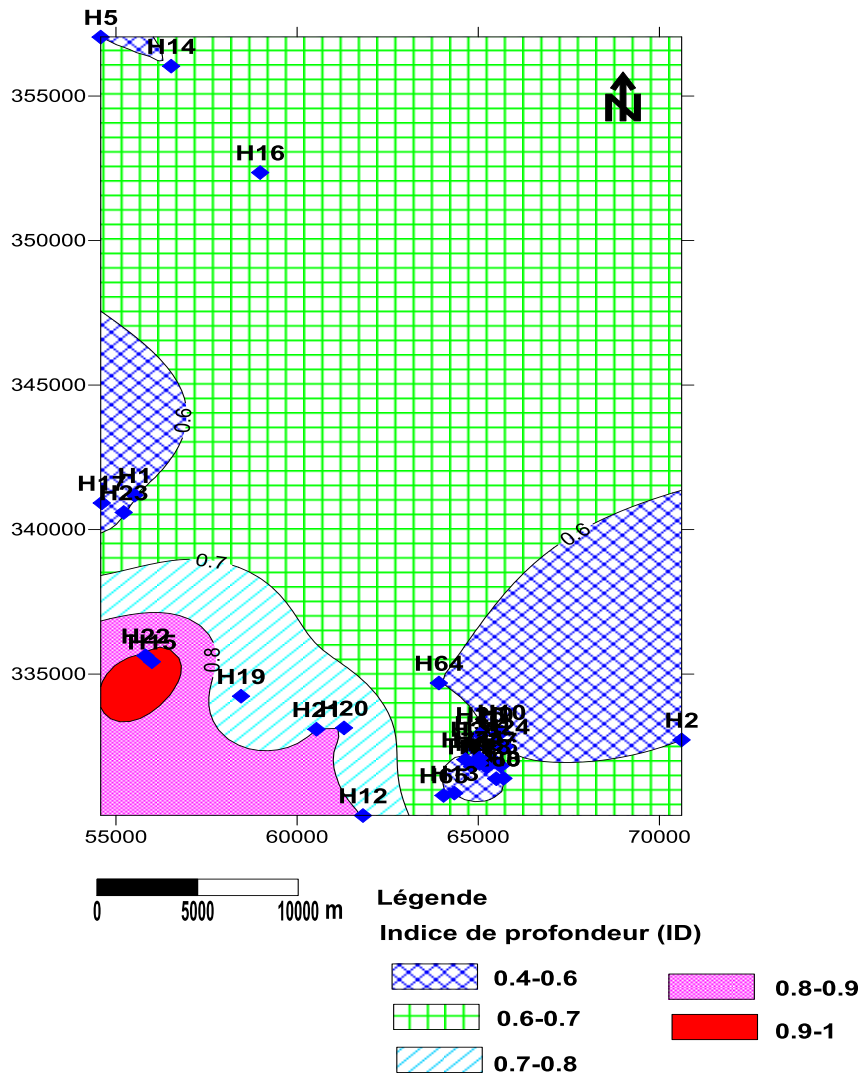


Fig.V.3 :Carte des indices de la profondeur de la nappe superficielle d’El-Oued

L’observation de la carte montre que les plus faibles indices sont répartis dans la Plus part de la zone d’étude (points d'eau H16, H5). Leurs valeurs ne dépassent pas 0.7, alors que les plus importants et fort indices se situent dans la zone sud-ouest, avec des valeurs de 0.8 à 1 (points d'eau H19, H12, H20).

II.5. Type de nappe(IA) :

Ce paramètre désigne le type de l’aquifère. Son identification a été basée sur les logs des forages et des puits creusés pour le captage de la nappe. Ces documents ont montré que le matériau aquifère de la nappe d'El-Oued est constitué essentiellement de sable, sable argileux et les silts, limons. Les indices correspondant à ce paramètre ont été estimés selon la notation illustrée dans le (Tab.V. 1)

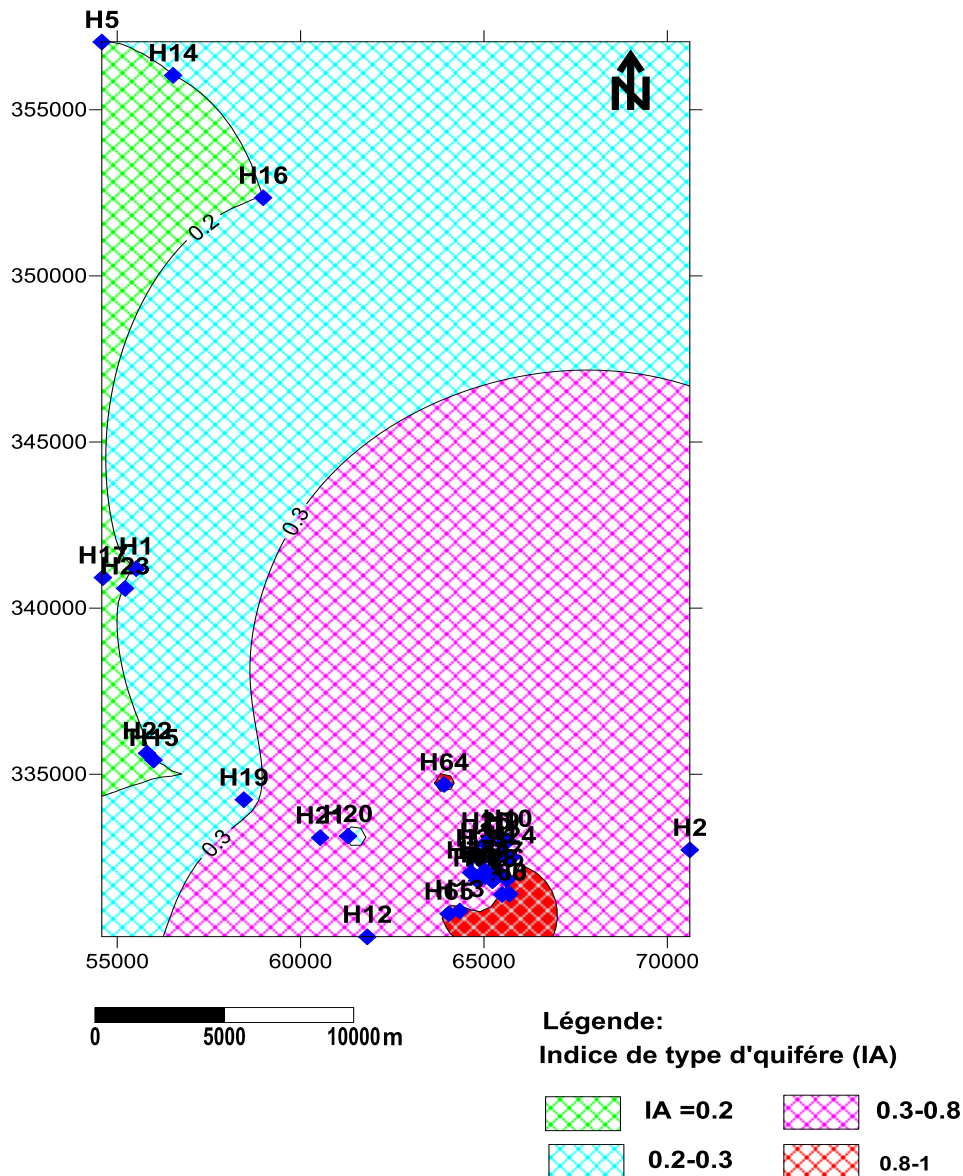


Fig.V.4 : Carte des indices de type d'Aquifère de la région d'étude.

L'observation de la carte de type d'aquifère montre que les indices les plus faibles se situent à proximité des bordures et les plus importants au centre et au sud-est de la plaine.

II.6 : Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (lithologie de la zone non saturée ZNS) :

La nature de la zone non saturée constitue un paramètre important dans l'estimation de la vulnérabilité, car elle influe sur la vitesse de propagation des polluants. Son impact est déterminé à partir de la lithologie des terrains qui la constituent. La percolation des contaminants jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette lithologie est favorable.

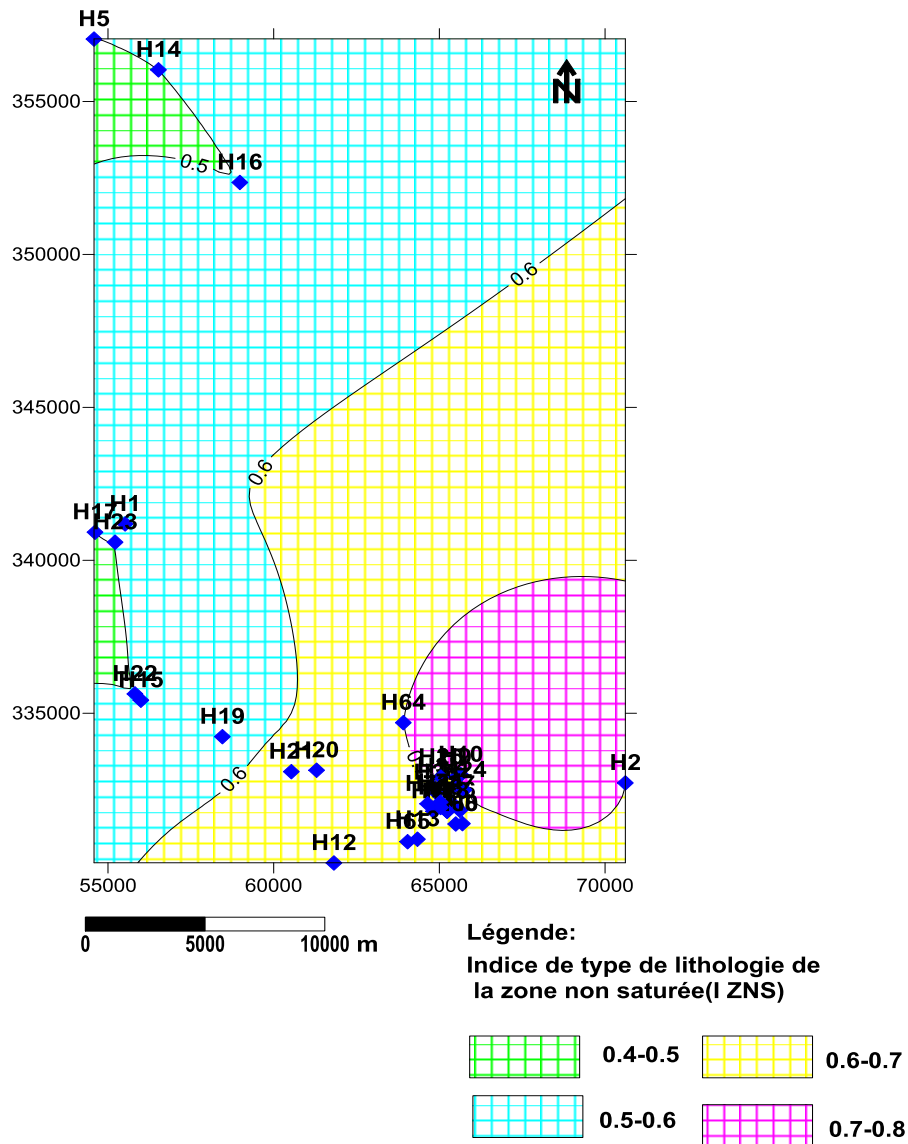


Fig.V.5: Carte des indices de type lithologie de la zone non saturée ZNS.

La carte des indices correspondant à la nature de la couche vadose montre que deux zones sont très vulnérables selon ce paramètre : la première se situe au centre vers le sud de la plaine à proximité des points d'eau H12, H20 et la seconde se localise au sud-est de la nappe (points d'eau H2, H64). Au Nord, les indices sont moins importants.

II.7. Carte de synthèse :

La carte de vulnérabilité de la région d'étude permet de visualiser les principales zones à risque, qui sont liées à des indices élevés. Pour caractériser cette vulnérabilité, on s'est basé sur les plages indiciaires de vulnérabilité qui sont utilisées communément.

- I_{GOD} dépasse 0.4 : vulnérabilité forte
- $0.2 < I_{GOD} < 0.3$: vulnérabilité moyenne ;
- $0.1 < I_{GOD} < 0.2$: vulnérabilité faible.
- $0 < I_{GOD} < 0.10$: vulnérabilité très faible.

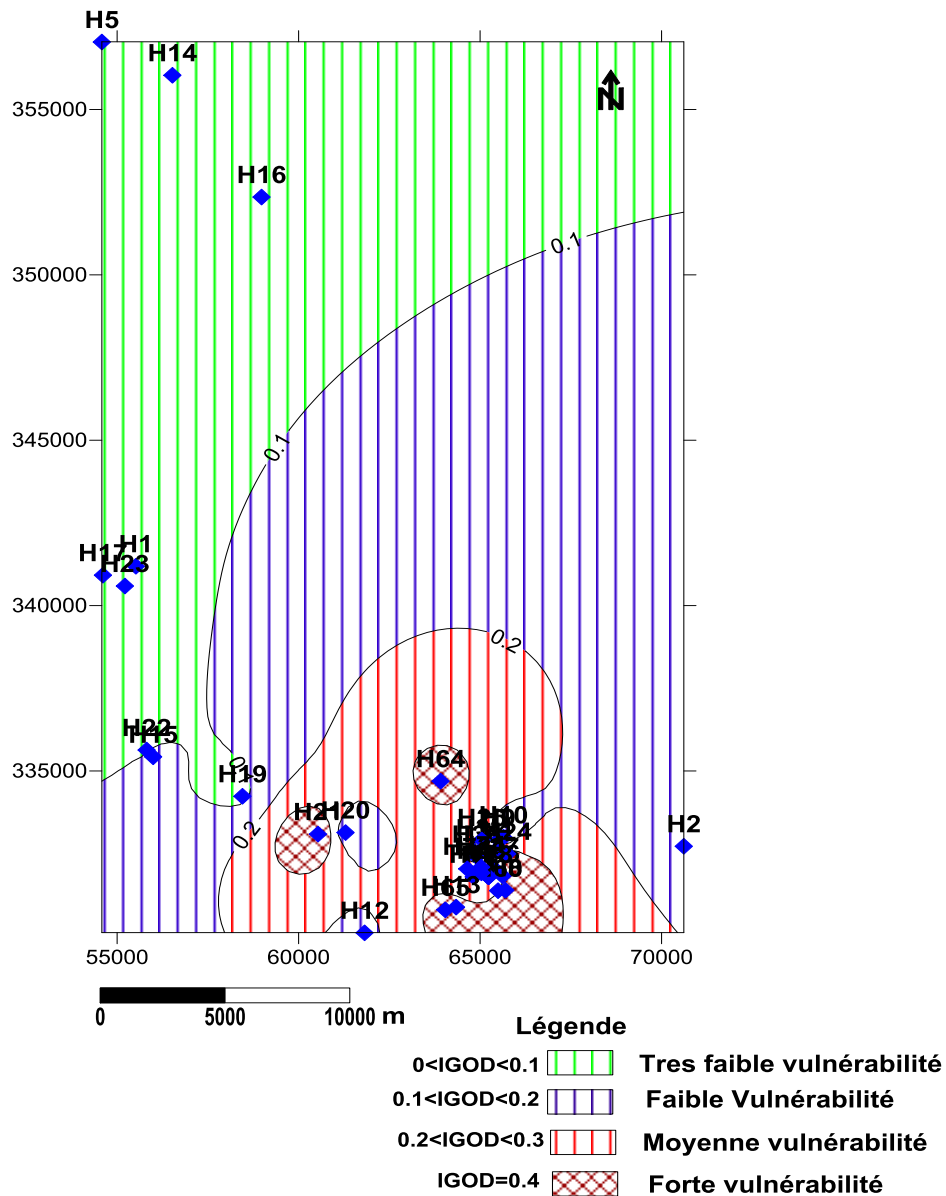


Fig.V.6 : Carte des indices de GOD de la zone non saturée ZNS.

Cette classification a permis de constater la présence de 04 zones :

- Une zone de plus grande vulnérabilité, dont l'indice dépasse 0.4, elle coïncide avec l'axe de la nappe où la profondeur de la surface piézométrique est très faible.

La nature de la couche non saturée influence également cette vulnérabilité.

- Une zone de vulnérabilité moyenne, qui se localise sud-est de la plaine, mais s'étend sur une surface limitée. Son indice de vulnérabilité varie de 0.2 à 0.3.

- Une zone de très faible et faible vulnérabilité, qui occupe la majorité de la nappe. Son indice de vulnérabilité varie de 0 à 0.2.

III. Application de la méthode REHSE :

III.1. Présentation de la méthode :(REHSE 1977)

W.REHESE a proposé en 1977 une méthode empirique pour l'évaluation du pouvoir épurateur des terrains, lors de transfert d'un polluant de la surface du sol jusqu'à la surface de la nappe par circulation verticale, puis en circulation horizontale au sein de la nappe. Le pouvoir épurateur permet de mettre en place des périmètres de protection.

Le périmètre de protection rapproché peut être défini en fonction des critères suivants :

- des caractéristiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain ;
- des débits d'exploitation maximum des forages ;
- de l'autoépuration des sols.

Toutefois, REHESE considère que l'épuration est variable selon les milieux traversés et proportionnelle à la distance parcourue.

Le principe de la méthode consiste à approcher les trois paramètres T, C'p/Cp et R'/R pour pouvoir calculer et cartographier l'indice de vulnérabilité Iv en tout point de la zone d'étude.

Cette cartographie se fait comme suit :

$$Iv = \alpha \frac{1}{T} + \beta \frac{C'p}{Cp} + \gamma \frac{R'}{R}$$

Avec cette normalisation, nous pouvons en conséquence considérer que les pondérateurs normalisés α , β et γ varient dans l'intervalle [0-1] et que $\alpha + \beta + \gamma = 1$. Ainsi, et avec un pas de 0,1 pour chaque pondérateur, nous avons considéré toutes les combinaisons possibles de simulations de l'indice Iv.

Ce modèle décrit une relation très significative entre l'indice de vulnérabilité et les trois paramètres. Il montre que ce sont les facteurs degré d'épuration et temps de transit qui conditionnent le plus, et ce de manière quasi similaire, l'indice Iv et que la recharge l'influence moins.

T : le temps de transit des eaux dans la zone non saturée

C'p/Cp : le degré d'épuration.

R'/R : le degré de recharge.

III.2. Évaluation des paramètres R'/R, C'p/Cp et T :

III.2.1. L'évaluation du degré de recharge (R'/R) :

Se fait en se basant sur l'identification des zones d'infiltration concentrée (zones d'alimentation privilégiée de la nappe par les eaux de surface, zones d'irrigation intensive) et l'appréciation des surfaces d'infiltration diffuse des précipitations. Cependant la

quantification de la recharge d'un aquifère n'est pas toujours simple ; elle dépend aussi bien des caractéristiques du sol (nature, pente et couvert végétal) que de la distribution des précipitations dans le temps ainsi que d'autres variables climatiques (température et humidité).

III.2.2. L'évaluation le degré d'épuration C_p/C_p :

La concentration C_p peut être calculée par résolution de l'équation de dispersion en milieu non saturé. Cependant, et pour rendre la méthode d'usage simple, nous pouvons, dans un premier temps, approcher le degré d'épuration (C_p/C_p) à l'aide du pouvoir épurateur M_d de la couche de couverture :

Nous pouvons considérer que :

$$C_p/C_p = \begin{cases} 1 - M_d & \text{si } M_d < 1 \text{ cas de l'épuration partielle} \\ 0 & \text{si } M_d \geq 1 \text{ cas de l'épuration totale} \end{cases}$$

Le pouvoir épurateur M_d dépend de l'épaisseur et de la nature des matériaux traversés en condition non saturée. Il est calculé le long du trajet vertical :

$$M_d = \sum_{i=1}^n h_i * l_i$$

M_d : pouvoir épurateur de la zone de couverture (REHSE ' 1977).

h_i : épaisseur de chaque sous-couche constituant la zone non saturée ;

l_i : indice d'épuration défini par REHSE en fonction des paramètres physiques et hydrodynamiques pour différents types de matériaux en condition non saturée. Il est lié à la perméabilité et au pouvoir de rétention des constituants du matériau considéré.

n : le nombre de sous-couches constituant la zone non saturée.

III.2.3. L'évaluation le temps de transit T :

Le temps de transit T d'un polluant depuis la surface sol jusqu'à la nappe dépend de plusieurs facteurs et la difficulté de l'estimation de ce paramètre ne réside pas seulement dans la multitude des facteurs mis en cause et la complexité de leur obtention, mais aussi dans le choix de la vitesse à considérer. En milieu poreux non saturé, cette vitesse s'exprime par l'équation de Richards et sa résolution donne la vitesse d'écoulement.

Cependant, dans ce travail nous avons utilisé la vitesse moyenne de filtration (V_i) caractéristique des différents types de roche.

Ainsi le temps de transit T_i , pour une couche donnée, pourra être calculé par : $T_i = h_i / V_i$, où h_i est l'épaisseur de la couche traversée. À la traversée de la zone non saturée, ce temps de transit T va être approché par :

$$T = \sum_{i=0}^n h_i / V_i$$

V_i : vitesse moyenne caractérisant chaque type de roche traversée par le produit polluant.

h_i : épaisseur de chaque sous-couche constituant la zone non saturée.

n : le nombre de sous-couches.

La protection de la nappe est d'autant meilleure que ce temps T est plus élevé.

III.3. Préparation des données :

Les cartes des différents paramètres pris en compte pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe ont été choisis à la même échelle (1/25000).

III.4. Digitalisation :

chaque paramètre a été digitalisé (SURFER 10) et sauvegardé, l'ensemble des données digitalisées constitue la base de données nécessaire pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité. Le calcul des indices pour ce paramètre a été fait selon

le tableau (V. 2).

Tab.V.2: Indice d'épuration et vitesse de filtration des différents matériaux (REHSE, 1977)

Granulométrie	Matériaux	Indice d'épuration	Vitesse de filtration (m/j)
Roches ayant des propriétés d'adsorption	Humus, 5-10 % humus, 5-10 % argile	0,8	0,86
	Argile, limon argileux, sable très argileux, argile	0,5	0,003-0,025
	argileux, argile	0,4	0,16
	limoneuse,	0,22-0,33	0,54-4,32
	Silt argileux à silt, limon fin sable limoneux		
Roches sableuses	Sable fin à moyen	0,17	8,23-10
	Sable moyen à grossier	0,1	19,2
	Sable grossier	0,07	27
	Gravier silteux, riche en sable et en argile	0,13	0,72
	Gravier peu silteux, beaucoup de sable	0,08	144
Gravier	Gravier fin à moyen riche en sable	0,04	201
	Gravier moyen à grossier, peu de sable	0,03	480
	Galets	0,02	4 320

Tab.V.3 : Indices des paramètres calculés selon REHESE

N : forage	X	Y	I R nette	I Md	I 1/T	I REHESE	C'p/Cp
H1	55517	341196	1000	7,15	0,002	173,07	0
H2	70613	332729	1484	4,125	0,25	254,15	0
H3	64805	332608	1000	6,6	0,11	172,88	0
H4	65433	332608	1304	3,4	0,26	223,24	0
H5	54579	357047	1000	3,85	0,05	171,67	0
H6	65622	331834	1602	1,7	1,01	273,47	0
H7	65210	331834	1170	4,67	0,14	200,96	0
H8	65697	331398	1170	9,07	0,20	202,88	0
H9	65506	332924	1537	6,05	0,22	263,97	0
H10	65646	333001	558	9,35	1,2	99,36	0
H11	64826	331805	720	1,02	0,12	122,88	0
H12	61818	330112	1000	1,37	1,51	171,19	0
H13	64339	330889	1088	1,92	0,22	185,87	0
H14	56524	356041	1000	0,32	0,28	170,25	0,677
H15	55993	335434	1000	7,32	5	175,14	0
H16	58980	352359	1000	3	0,001	171,29	0
H17	54610	340926	1000	0,18	0,001	170,0	0,82
H18	65237	331809	1000	1,1	0,12	170,52	0
H19	58453	334241	1000	1,65	0,0021	170,71	0
H20	61295	333144	1000	1,1	0,0098	170,47	0
H21	60534	333097	1000	1,65	0,5	170,90	0
H22	55814	335639	1000	2,3	0,003	170,99	0
H23	55215	340598	1000	1,37	0,002	170,59	0
H24	65745	332500	1602	4,63	0,334	274,46	0
H25	65046	332919	769	4,72	0,328	132,89	0
H26	64903	332415	631	8,60	0,077	111,00	0
H27	65402	332040	720	4,12	0,001	124,17	0
H28	65225	331811	720	11,55	0,057	127,38	0
H29	65237	331809	720	0,55	0,465	122,82	0,45
H60	65495	331387	1292	6,29	0,246	222,44	0
H64	63913	334698	1499	8,25	0,15	258,43	0
H65	64042	330807	1000	7,15	0,176	173,14	0
H68	65037	331926	720	7,19	0,215	125,57	0
H73	64647	332046	1073	2,47	0,063	183,49	0
H74	65029	332099	487	7,15	0,146	85,92	0

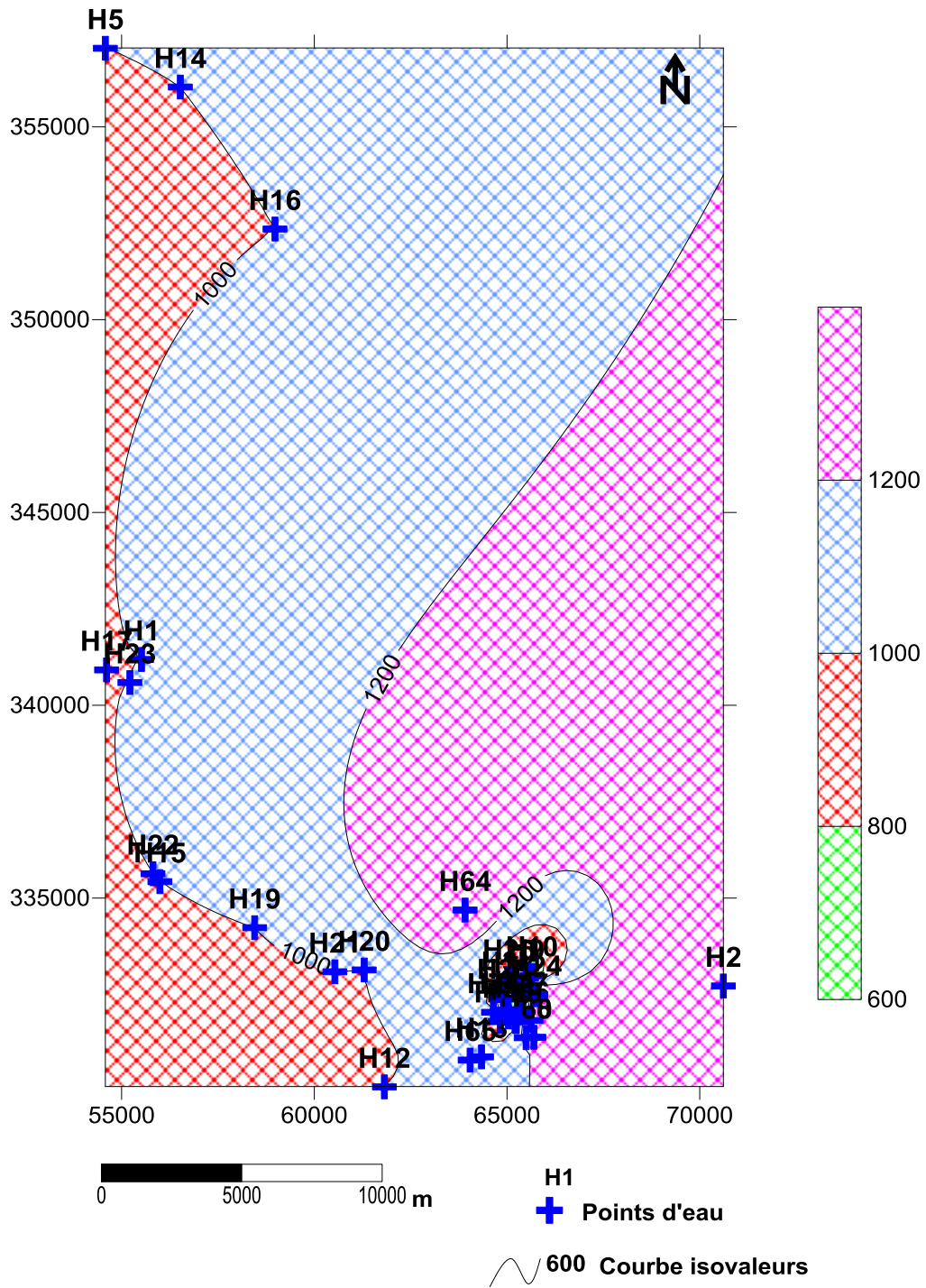


Fig.V.7: Carte de répartition du recharge(mm / an) de la nappe superficielle de la zone d'étude

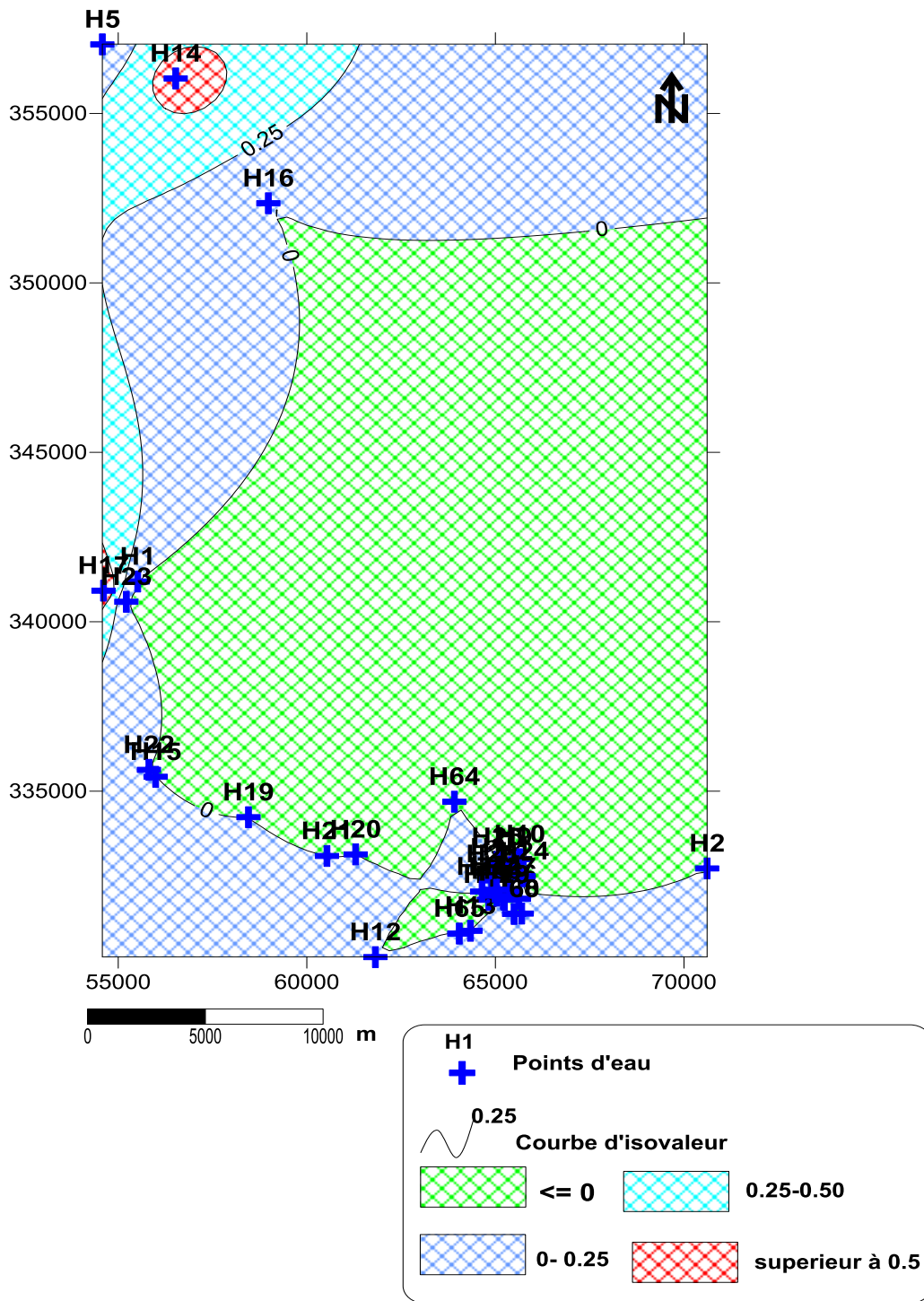


Fig.V.8 : Carte de répartition du degré d'épuration de la nappe superficielle de la zone d'étude

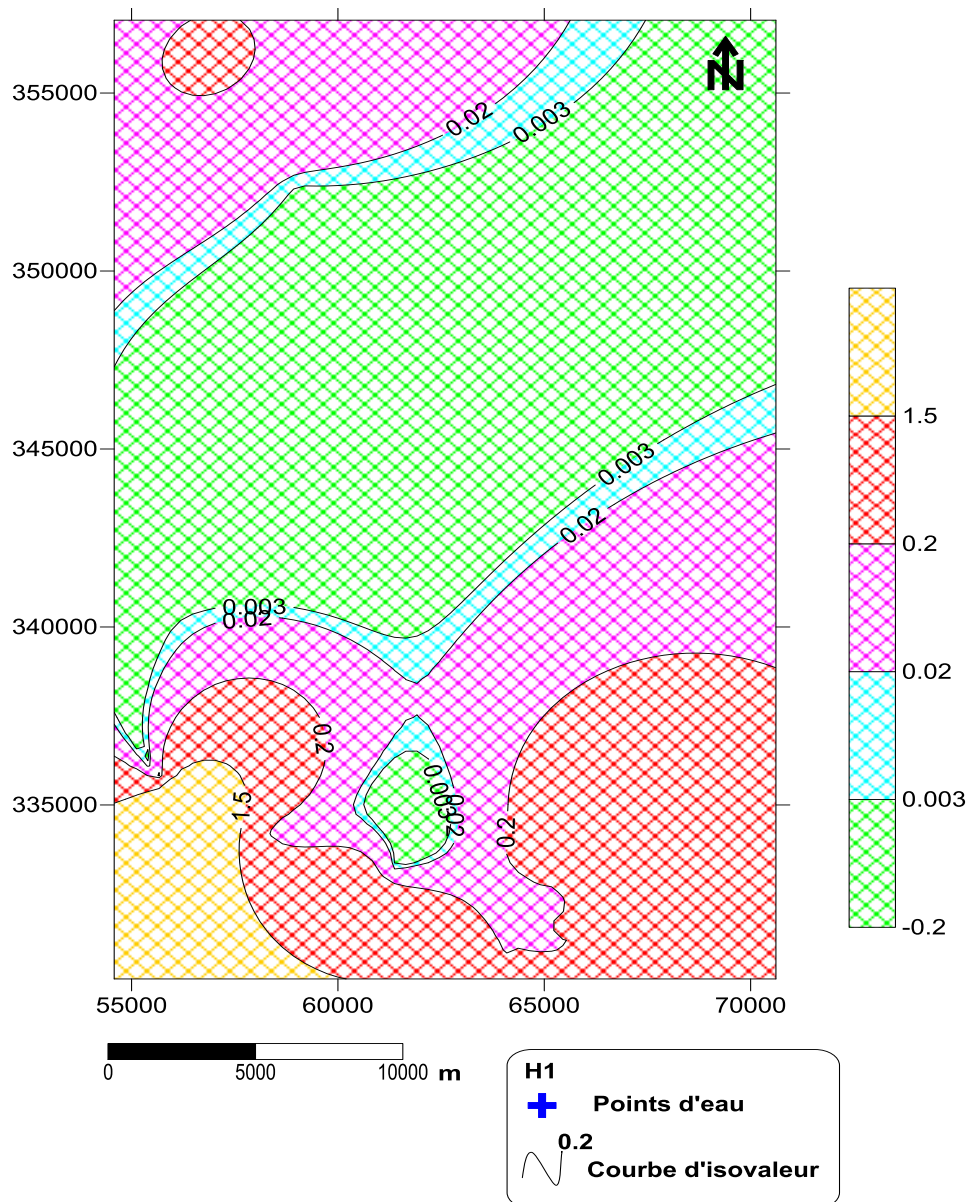


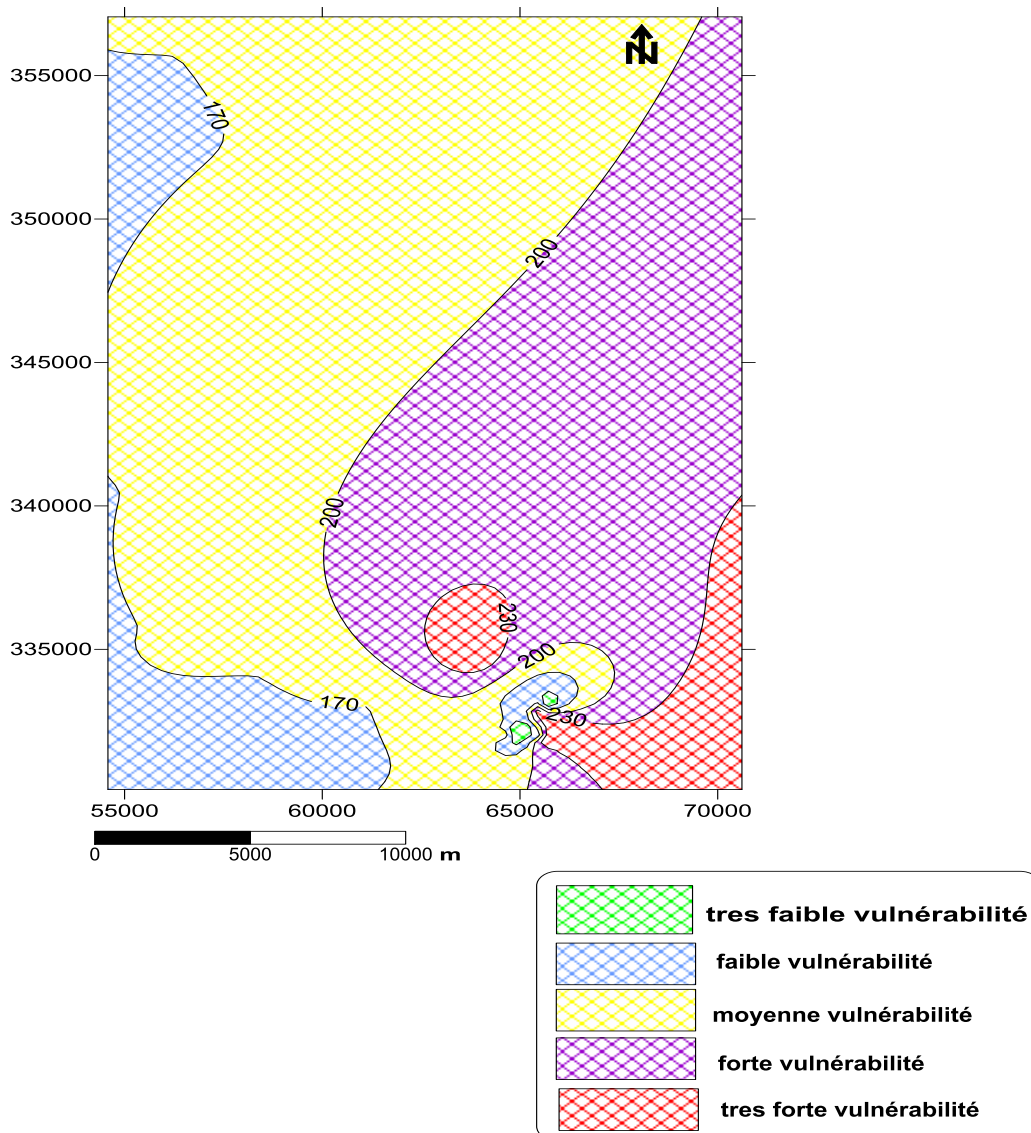
Fig.V.9: Carte de répartition de l'inverse du temps de transit à la nappe superficielle de la zone d'étude

III.5. Cartographie de la vulnérabilité et interprétation :

L'indice I_v , calculé pour chaque combinaison, nous a permis de classer les puits témoins et d'éliminer les combinaisons qui donnent des résultats aberrants.

La combinaison qui s'ajuste au mieux, au sens du critère des moindres carrés, à l'indice de vulnérabilité est donnée par : $I_v = 0,400. (1/T) + 0,428. (C_p/C_p) + 0,172. (R'/R) \dots (1)$

Les valeurs de l'indice normalisé qui ont été calculées pour la région d'El-Oued par la relation 1 sont réparties en classes correspondant à une vulnérabilité faible ($0 < I_v < 90$), moyenne ($90 < I_v < 120$), forte ($120 < I_v < 150$) et extrême ($I_v > 150$). Le choix de ces intervalles est basé sur une analyse des temps de transit et du degré d'épuration de tous les puits et leur confrontation avec les données géologiques et hydrogéologiques.



**FigV.10: Carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe superficielle d'El-Oued
Selon REHESE(1977)**

La carte de vulnérabilité de la région d'étude permet de visualiser les principales zones à risque, qui sont liées à des indices élevés. Pour caractériser cette vulnérabilité, on s'est basé sur les plages indiciaires de vulnérabilité qui sont utilisées communément.

- ($80 < I_{REHSE} < 140$) : vulnérabilité très faible .
- ($140 < I_{REHSE} < 170$) : vulnérabilité faible.
- ($170 < I_{REHSE} < 200$) : vulnérabilité moyenne.
- ($200 < I_{REHSE} < 230$): vulnérabilité forte.
- I_{REHSE} supérieur à 230 : vulnérabilité très forte.

La carte obtenue (Figure) montre en général une forte et très forte vulnérabilité au niveau des parties sud-est et centre qui est peut être liée à la faible épaisseur et la lithologie de la zone non saturée de l'aquifère.

Les parties de bordures (nord-ouest et sud-ouest) de la plaine présentent une faible vulnérabilité.

Dans la partie centrale de la zone d'étude , présentant une vulnérabilité moyenne.

Tab. V.4. Analyse comparative des résultats des deux méthodes utilisées

Méthode	Degré de vulnérabilité %				
	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très Fort
G.O.D	40	17,14	37,14	5,7	0
REHSE	22,85	8,57	42,85	25,7	0

IV. Conclusion :

La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue impérative afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau et la protection des captages d'eau potable. Elle apparait donc nécessaire et incontournable, car elle permet d'identifier facilement les zones sensibles à des pollutions potentielles. Elle permet aussi d'orienter l'aménagement du territoire. Cependant, l'usage de ces cartes pour la limitation efficace de la protection des eaux souterraines doit tenir compte du contexte hydrodynamique de l'aquifère qui ne compromet pas inutilement la planification et la gestion du territoire. L'originalité de ce travail réside dans la réalisation d'une cartographie de la vulnérabilité de la Plaine d'El-Oued et cela en utilisant un indice de vulnérabilité récemment introduit . D'autres études doivent être poursuivies afin d'élaborer des cartes plus précises et tenant compte d'un nombre important de données. La cartographie des zones de vulnérabilité de la nappe a révélé trois zones de vulnérabilité différente. Les zones de vulnérabilité modérée occupe la majorité de la surface totale de la plaine, alors que les zones à faible et forte vulnérabilité occupent le reste de cette surface.

Conclusion générale

L'ensemble des résultats obtenus a permis de relever les faits suivants :

Le secteur d'étude est situé dans la partie Sud-est d'Algérie, d'une superficie de 750840 Km², il est caractérisé par :

- Un chevelu hydrographique caractéristique des zones arides.
- Un climat à forte variabilité spatiale et temporelle dominé par l'influence de l'évapotranspiration.
- Un couvert végétal pauvre et discontinu.
- L'étude hydroclimatologique a montré que la région est caractérisée par un climat aride, avec un hiver sec.
- L'étude hydrogéologique a permis de confirmer ce qui a été déterminé par l'étude géologique et que nous sommes en face de trois formations aquifères principales ; il s'agit phréatique et complexe terminale et complexe intercalaire.
- D'après les coupes géologiques, on constate que le contact entre les nappes se fait directement sans intermédiaire ou lien, intercalé par des niveaux argileux.
- La carte piézométrique de la région d'étude montre un écoulement des eaux souterraine orienté du sud vers le nord.
- Les essais de pompage effectués au niveau des forages El-Oued centre Nakhla Gharbia ,Ain raach,Blila, Ourmes des valeurs de transmissivités qui sont respectivement de $34,63 \cdot 10^{-3}$, $18,3 \cdot 10^{-2}$ et $5,88 \cdot 10^{-2}$ $3,44 \cdot 10^{-2}$ et $18,3 \cdot 10^{-2}$ (m²/s).

L'étude hydrochimique montre que le secteur d'étude est caractérisé par plusieurs faciès chimiques apparaissent dont les plus dominants sont chloruré sodique et sulfaté sodique. Cela est dû à la dissolution des formations évaporitiques et lessivage des terrains gypso-salifères.

La zone d'étude caractérisée par des eaux très chargées, influencées par la présence des chotts et les formations triasiques. Les eaux de cette partie sont de mauvaises qualités.

- L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD et REHESE 1977) montrent que la majorité de la nappe libre de Oued Souf a une vulnérabilité modérée. Les zones à faible et forte vulnérabilité occupent une faible superficie de la surface totale de terrain étudiée.

Recommandations :

Les recommandations aux quelles nous sommes arrivés se résument comme suit :

- ❖ Veiller à une meilleure gestion des eaux en évitant l'exploitation anarchique des eaux souterraines par les nombreux forages et puits implantés.
- ❖ Effectuer des campagnes piézométriques et des prélèvements d'eaux pour l'analyse chimique pendant les deux périodes (hautes et basses eaux) afin d'estimer les réserves régulatrices de la nappe et suivre l'évolution chimiques des eaux.
- ❖ Equiper de préférences les puits par des briques en chaux pour minimiser les eaux de la pollution.
- ❖ Eviter le déversement direct des eaux d'égouts dans les chotts sans traitement préalable.
- ❖ Utilisation rationnelle des engrais avec une exploitation rationnelle des sols cultivés.
- ❖ Gérer d'une façon rationnelle les ressources en eau.

Tab :tableau de niveau piézométrique en 2010

		Np	NS
Y	X		(m)
335630	55402	-15	15
334704	55829	-20	20
332936	60095	-35	35
340624	55102	-39,7	39,7
332342	55828	-27	27
332729	60319	-30	30
331898	65493	-32	32
331832	65426	-55	55
331807	65235	-45,05	45,05
331926	65037	-42,3	42,3
331697	65441	-32	32
332205	64793	-35,7	35,7
332321	64935	-32	32
332514	64824	-32,8	32,8
333289	65227	-21,45	21,45
333030	66047	-28,2	28,2
332502	65809	-29,52	29,52
332714	64801	-31,4	31,4
333743	64330	-13,8	13,8
332519	65495	-10,6	10,6
333741	64301	-20	20
333290	64531	-23,7	23,7
333821	73301	-10,7	10,7
333129	73826	-3,4	3,4
340905	73801	-10,7	10,7
331228	65832	-31,35	31,35
333030	66047	-28,2	28,2
333305	70251	-18,9	18,9
331088	64693	-37	37

Référence et bibliographique

- 1) A.D.E : (Algérienne Des Eaux Wilaya d'El-Oued). Rapports sur l'alimentation en eau potable(AEP).
- 2) ALBINET M. et J. MARGAT (1970). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines. Bull. BRGM, 2e série, section III, 4, 3-22, Orléans.
- 3) AMHARREF M., S. AASSINE et A. BERNOUSSI (2002). Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines : application au cas de la plaine du Gharb. Proc.
- 4) A.N.R.H : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya d'Ouargla).
- 5) A.N.R.H : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Touggourt).
- 6) B.G 2007-2008 : Inventaire des forages
- 7) B.G-H.P.O. :2004 – vallée du souf, études d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation
- 8) CRIVERT (2003). La cartographie régionale de la vulnérabilité des eaux souterraines : un outil pertinent d'aide à la prise de décision en matière d'aménagement du territoire. Synthèse .
- 9) DEMDOUM ABDESLAM (2010): Etude hydrogéochimique et impact de la Pollution sur les eaux de la région d'el Eulma. Thèse doctorat d'état. Université de Mentouri Constantine.
- 10) D.H.W (Direction d'hydraulique de la wilaya d'El-Oued)
- 11) Direction de transport : bureau de la météorologie et le vol l'avion.
- 12) DROUCHE A BDELMALEK (2008) : impact des eaux du rejet sur la qualité des eaux de la nappe libre d'Oued-souf .Mémoire de magister université Badji Mokhtar Annaba
- 13) D.S.A : (Direction Des Services Agricoles).
- 14) Du Congrès international de mathématiques appliquées JANO7, Tanger 17-19 avril CD-Rom édité par la Faculté des Sciences et Techniques, Tanger, Maroc.
- 15) FNAZI BILAL (2008) : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère Alluvionnaire de la plain de oued djendjen et modélisation de la nappe. Mémoire de magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 16) KHACHANA Salim (2007) : Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée de Oued-Souf (Sud-Est) Algérien. Mémoire de magister université Badji Mokhtar Annaba.

- 17) MINA amharref ,Saadia Aassine ,Abde Samed Bernoussi et Ben Younes Haddouchi revue des science de l'eau (2007) :Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Application à la plaine du gharb (Maroc)
- 18) MOHAMED SINAN : école hassania des travaux public (Casablanca) et Mlle Najoua bouibrine : direction général d'hydraulique (Rabat) 2007 :Utilisation des SIG pour la comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité de la nappe à la pollution : Application à la nappe du Haouz de Marrakech (Maroc).
- 19) O.N.A : Office nationale d'assainissement.
- 20) O.N.M :(Office National Météorologique) Station de Guemar et de Touggourt, données climatiques.
- 21) ORMVAG (Office de Mise en Valeur Agricole du Gharb) (1996). Étude pédologique de la plaine du Gharb au 1/20 000. 4 rapports de 194 p. + 12 cartes. (Rapport interne ORMVAG. Kenitra, Maroc) .
- 22) Programmation et suivi budgétaire
- 23) Réalisée pour la Commission environnementale de stratégie Saint-Laurent par le groupe écologique CRIVER
- 24) REHSE W. (1977). Elimination und Abbaue von organische Fremdstofen, pathogenen Keimen und virenin Lockergestein. Z. Dt. Geol. Ges., 128, 319-329.
- 25) SADRATI N (2005) : Hydrochimie est impact des agglomérations sur les eaux. Mémoire magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 26) SADRATI N (2005) : Hydrochimie est impact des agglomérations sur les eaux. Mémoire magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 27) ZAIR Nadjjet (2010) : Etude hydrogéologique et problème de vulnérabilité des nappes aquifères dans la région d'Oum El – Bouaghi nord-est Algérien. Mémoire magistère université Badji Mokhtar Annaba.
- 28) ZINE Brahim (2009) : La remonté des eaux souterraines en surface mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas de Oued Souf). Mémoire de magister université El Hadj Lakhdar Batna.

Résumé

L'eau est une matière première de grande importance pour la survie des êtres humains et de leur environnement. L'accroissement démographique dans la région d'étude nécessite un besoin d'eau de plus en plus croissant. Ce travail consiste une description de la géométrie et de la structure des nappes, réalisée grâce à l'étude géologique, qui montre que la nappe libre superficielle est constituée des sables gréseux. Le substratum est constitué des argiles.

Les mesures de conductivités montrent des valeurs élevées et témoignent de l'influence des chotts et formations géologiques.

L'examen des cartes piézométriques montre que l'allure générale des courbes ne varie qu'assez peu d'une compagne à l'autre.

L'étude hydrochimique définit plusieurs faciès, les plus répandus sont les faciès chloruré sodique et sulfaté sodique, provenant des évaporites. Le taux de nitrates est au dessus des normes de l'OMS pour l'eau de boisson à cause à l'activité agricole.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD et REHESE 1977) montrent que la nappe libre de la région de Oued Souf a une vulnérabilité modérée.

Mots clés : eaux souterraines, vulnérabilité et hydrogéologie, hydrochimie.

Summary

Water is a commodity of great importance for the survival of human beings and their environment. Population growth in the study area requires a need water more growing. This work is a description of the geometry and structure of the water, carried by the Geological Survey. Which shows that the surface free sheet consists of sand, gres. The bedrock consists of clay.

The conductivity measurements show high values and show the influence of chotts and geological formation.

Examination of piezometric maps shows that the general shape of the curves varies relatively little for a companion to another.

The study identifies several hydrochemical facies, the most common are the sodium chloride facies and sulfated sodium, from evaporites. The nitrate level is above the who standards for drinking water due to agricultural activity.

An examination of the vulnerability map (method of GOD and REHESE 1977) show that the water table in the region of Oued Souf has a moderate vulnerability.

Keywords: groundwater vulnerability and hydrogeology, hydrochemistry.

ملخص

في هذا العمل تطرقنا إلى دراسة الخصائص الهندسية للجيوب المائية وهذا بفضل الدراسة الجيولوجية، حيث بينت لنا هذه الأخيرة التكوينات الجيولوجية للجيوب المائية التالية (الرمل، الطين).

القياسات الناقلية الكهربائية مرتفعة جدا وتتعدى قيم منظمة الصحة العالمية وهذا ناتج عن تأثير التكوينات الجيولوجية. تبين الخريطة البيزومترية عدم وجود اختلاف في مستوى البيزومتري للجبب المائي وهذا بالنسبة للفترتين الزمنيةتين لقياس مستوى البيزومتري.

من خلال الدراسة الهيدروكيميائية نلاحظ توزع كلوريد الصوديوم و سيلفات الصوديوم بكميات كبيرة وهذا ناتج عن عملية التبخر عن التكوين الجيولوجي.

كما وضحت لنا الدراسة ان قيم النترات تفوق معايير منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب وهذا بسبب النشاط الزراعي. ونستخلص في الاخير من خلال دراستنا حساسية المياه الجوفية للتلوث بمنطقة وادي سوف وهذا باستعمال طريقة

(GOD وREHSE)

وان معظم المنطقة ذات حساسية المياه الجوفية للتلوث بدرجة متوسطة.