

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université de Tébessa**



**Faculté des Sciences Exactes  
et Sciences de la Nature et de la Vie**

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

**Mémoire**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister en hydrogéologie

Option : impact du changement climatique sur les ressources  
hydriques en Algérie.

Par

Mr Nesrat Ali

**ASPECT QUANTITATIF ET QUALITATIF DES EAUX DES NAPPES  
PROFONDES (CAS DU COMPLEXE TERMINALE ET DU  
CONTINENTALE INTERCALAIRE DE LA VALLEE D'OUED SOUF  
Sud-Est ALGERIEN)**

Date de soutenance : 25/01/2016.

Devant les membres de jury suivant:

Pr. Boumezbeur Abderrahmane	Président	Professeur	Uni. Tébessa
Pr. Baali Fathi	Examineur	Professeur	Uni. Tébessa
Dr. Kachi Slimane	Examineur	M. C. A	Uni. Guelma
Pr. Fehdi Chemseddine	Rapporteur	Professeur	Uni. Tébessa

**ملخص :**

منطقة وادي سوف هي وحدة للموارد المائية تقع في الجنوب الشرقي الجزائري حيث أنها تزخر بمخزون جوفي كبير يتمثل في: طبقة المتداخل القاري (CT) وطبقة المركب النهائي (CI) ، أكثر المياه المخصصة لتغذية السكان تستخرج من طبقة المتداخل القاري الأولى (CT).  
تمثل الطبيعة الكيميائية لهذه الطبقة مشاكل عديدة منها التركيز المعدني الكبير بالإضافة إلى التركيز المرتفع لعدة عناصر و الذي تجاوز الحد المسموح به من طرف المنظمة العالمية لصحة (OMS) .  
إن الهدف من هذا العمل هو تحديد نوعية مياه هذه الطبقة وتأثيرها على المحيط.  
و من خلال النتائج المحصل عليها وبعد تطرقنا لعدة خطوات للمعالجة (رسم بياني - أداة إحصائية) نستنتج أن تركيز المعدنية مرتفعة سببها الرئيسي جيولوجي ، أي أنها متعلقة بتركيب الطبقات . يبقى في الأخير أن المشكل الأساسي لمياه طبقة المتداخل القاري الأولى (CT). لمدينة وادي سوف يقع في نوعية، وهذا ما يستلزم وضع قوانين من أجل تحسين استغلاله وتحسين تركيبته النوعية وبحيث تضمن هذه القوانين معايير مياه الشرب العالمية قبل وضعها للاستهلاك.

**كلمات المفتاحية:** المتداخل القاري ، المركب النهائي، التركيز المعدني ، التأثير النوعي، أداة إحصائية

***Résumé :***

La région d'Oued-Souf est une unité de ressource en eau située au sud-est algérien. Elle possède un réservoir très important présentant sous forme de deux nappes : la nappe du complexe Terminal (Pontien), la nappe du Continental Intercalaire (Albien). dont la quasi-totalité des eaux destinées à l'alimentation de la population sont des eaux du complexe Terminal .

La qualité chimique de ces eaux (Pontien) pose un grand problème, tel que la salinité, la minéralisation forte et la concentration de certains éléments qui dépassent les normes recommandées par l'OMS. L'objectif de cette étude est de déterminer la qualité des eaux (Pontien) de cette région et leur impact sur l'environnement.

Les résultats obtenus et traités par différentes méthodes, diagramme et outil statistique permettent de conclure que la minéralisation des eaux est d'origine géologique. Le problème essentiel des eaux du complexe Terminal de la vallée d'Oued-Souf est un problème de qualité, pour cela il faut exiger des critères rigoureux pour améliorer la qualité chimique des eaux et garantir sa potabilité selon les normes internationales, avant de la mobiliser aux consommateurs.

***Mots clés :*** *Complexe Terminal, Continental Intercalaire, Minéralisation, Qualité chimique, Outil statistique*

---

***Abstract:***

The area of Oued-Souf consists of a good amount of underground water resources. These resources consist of two big aquifers: the Terminal Complex and the Continental Intercalary. The Chemical quality of these waters creates big problems like: the high mineralization and the concentration of some elements that surpass the recommended norms stated by the OMS. The objectives of the present study relate to quality of the waters within this area and their effects on the environment.

According to the results obtained from the different methods utilized, diagram and statistical tool, it could be said that the mineralization of these waters is geologic in origin. The mineralization relate to the composition of the strata that make the two layers. The problem of the Oued-Souf area waters is in essence a problem of quality, for this we believe there must be some rigorous research to develop the chemical quality of these waters and to guarantee their accountability to the international norms before mobilizing them to the consumers.

***Key words:*** *Terminal Complex, Continental Intercalary, Mineralization, Qualitative aspects, statistical tool.*

---



# *Dédicace*

En cet honorable lieu, d'un simple geste tracé par écrit, mais qui jaillie du profond sentiment de reconnaissance, permettez-moi de citer les noms comme un mémorandum pour ceux qui ont une place particulière:

## *A Mon Chère Père*

*Nulle expression ne peut traduire le noble sentiment que j'ai à ton égard, Pour l'amour que tu m'as toujours porté, Pour ta patience et ta générosité.*

## *A Ma Chère Mère*

*Les mots me manquent pour exprimer toute ma reconnaissance pour tout ce que tu as fait pour mon bonheur et ma réussite. Que Dieu te protège et t'accorde-le bonheur, la santé et la longue vie. Pour ton grand amour, ta tendresse et tes longues prières qui m'ont été lameilleure gage de réussite, je t'offre ce travail.*

## *A Mon Chère frère M<sup>ed</sup> Salah*

*Que dieu vous protège et vous offre tout le bonheur que vous méritez pour votre avenir.*

## *A mes Chères sœurs*

*En leur souhaitant de tout mon cœur une vie pleine de joie et de bonheur, ainsi qu'a leurs aimables et adorables enfants :Kais, Narimel, Rafif, Ikram, Saja et Firas.*

*A mes tantes et oncles ainsi que mes cousins et cousines.*

## *A tous mes amis*

*Qui m'ont encouragé à continuer mon travail malgré toutes les difficultés.*

*Je vous offre ce travail à mon épouse de futur et sa famille {Souid}*

*Je dédie ce travail également à tous qui auront le plaisir de lire ce mémoire.*

**A tous** ; je dédie cet ouvrage, qui est le sens de mes études supérieurs, tel un présent du cœur, en priant ALLAH tout puissant à le mettre au service de notre nation et du bien de l'humanité, et qu'il sera une lumière sur mon parcours professionnel.

*Amicalement*

*Nesrat Ali*

---

## **REMERCIEMENTS**

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre gratitude et nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Nous remercions mon Dieu qui m'a donné la force et la sagesse pour achever ce modeste travail.

Nos remerciements très chaleureux vont tout d'abord à :

- ☞ Monsieur Pr. Fehdi Chemseddine, notre promoteur, qui nous a guidé et suivi tout au long de ce travail. Il nous a conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils et de multiples suggestions. Ses critiques fructueuses ont été, pour nous, une source d'enrichissement. Son aide et sa disponibilité nous ont permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.

Nous adressons également nos vifs remerciements à :

- Pr. Boumezbeur. A pour l'honneur qu'il nous a fait, en présidant le jury.
- Pr. Baali. F et Dr. Kachi. S d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants de la faculté des sciences exactes et des sciences de la vie, département de la science de la Terre.

Nos remerciements sont également adressés à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements les plus sincères vont aussi à l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H de Touggourt, pour leurs conseils et encouragements pendant toute la durée de la réalisation de ce travail.

Nous remercions les responsables et l'ensemble du personnel de l'hydraulique de la wilaya d'El Oued, pour leur contribution, en particulier Monsieur le directeur, Monsieur Radouani Nacer, et Mme Aicha.

Nous remercions encore

- Monsieur Khachana. S qui nous a noué le contact avec les organismes locaux.
- Monsieur les directeur des subdivisions de l'hydraulique en particulier Mr Soualah.M le subdivisionnaire de la daïra d'El-Bayada et son équipe.
- Mr Zaiz. A ingénieur au service d'assainissement à l'hydraulique de la wilaya.

Nos remerciements aussi ADE d'EL OUED, notamment le directeur et les ingénieurs, et les personnels de ONA.

On n'oubliera jamais de nous adresser à nos familles pour leur soutien exemplaire moral et matériel continu et inébranlable. Tout au long de notre cycle.

---

Tableau(I.1) :	Altitude moyenne des différentes communes d'El-Oued.....	05
Tableau (I.2):	Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la wilaya d'El-Oued.....	07
Tableau (I.3) :	Ressources hydriques dans la wilaya d'El-Oued.....	11
Tableau (II.1):	Les compositions lithologiques de la région d'étude.....	21
Tab.III.1 :	Caractéristiques géographiques de station climatique.....	30
Tableau (III.2):	Températures moyennes mensuelles à la station ONM d'El Oued.....	30
Tableau (III.3):	Températures moyenne annuelles de l'ONM d'El Oued.....	31
Tab (III.4):	Précipitations moyenne mensuelles de l'ONM d'El Oued.....	32
Tableau (III-6) :	Précipitations moyenne annuelles de l'ONM d'El Oued.....	34
Tableau (III-7) :	Classification de type de climat de la région d'étude.....	38
Tab.III.8:	Valeurs des précipitations annuelles classées par ordre croissant et les probabilités correspondantes.....	40
Tab.III.09 :	Précipitations correspondantes aux probabilités de dépassement.....	43
Tab. III.10 :	Les résultats du calcul du $x^2$ en loi normale.....	43
Tab (III.12):	Comparaison de l'adéquation des lois testées au test du $x^2$ .....	46
Tableau (III-13) :	Humidité moyenne mensuelle en (%) de l'ONM.....	47
Tableau (III-14) :	Vitesses moyennes des vents mensuels en (m/s) de l'ONM.....	48
Tableau (III.15) :	Insolation moyenne mensuelle en (m/s) de l'ONM.....	49
Tableau (III-16) :	l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) de l'ONM.....	50
Tab (III.17):	Résultats de l'ETP issus de l'application de la formule de Thorntwaite.....	52
Tab (III.18):	Résultats de l'application numérique de la formule de TURC.....	53
Tab (III.19):	Bilan hydrique de la station de Guemar d'après Thorntwaite.....	55
Tableau (IV-1) :	Étendue et volume des ressources en eaux souterraines.....	65
Tableau (IV-2) :	Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued.....	65
Tableau (IV-3) :	Épaisseur moyen des différents aquifères.....	66
Tableau (VI-4) :	Résultats de pompage d'essai par paliers du forage F58 (Hammadine).....	71
Tableau (IV-5) :	Résultats de pompage d'essai par paliers du forage F31 (Soualah).....	72

Tableau (IV-6) :	Résultats des Débits spécifiques (en m <sup>2</sup> /s) pour les 02 sites.....	73
Tableau (IV-7):	Résultats de la transmissivité (en m <sup>2</sup> /s) pour les 02 sites.....	74
Tableau (IV-8) :	Résultats de la perméabilité (en m/s) pour les 02 sites:.....	75
Tableau (IV-9) :	Résultats de La porosité efficace.....	75
Tableau (IV-10) :	Niveau piézométrique de la nappe du complexe terminal.....	76
Tableau (IV-11) :	Nombre des Forages à l'arrêt et abandonnés pour les 18 communes .....	82
Tableau (IV-12) :	Répartition des forages par usage avec les volumes respectifs.....	84
Tableau (V-1):	Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux C.T.....	88
Tableau (V-2):	Classification des eaux en fonction de la conductivité.....	92
Tableau (V-3):	Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER.....	106
Tableau (V-4):	Classification des eaux selon le diagramme de PIPER.....	109
Tableau (V-5):	Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLER-BERKALOFF	109
Tableau (V-6):	Normes de potabilité de l'O.M.S.....	119
Tableau (V-7):	Dureté des eaux °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969.....	122
Tableau (V-8) :	Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.....	123
Tableau (V-9):	Degré d'aptitude à l'irrigation selon SAR.....	124
Tableau (V-10):	Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox (1948).....	125
Tableau (V-11):	Directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation (Toxicité spécifique de certains ions).....	125
Tableau (V-12):	Paramètres statistiques des éléments chimiques.....	129
Tableau (V-13):	Matrice de corrélation des paramètres chimiques.....	129
Tableau (V-14):	Pourcentage de variance exprimée.....	130
Tableau (V-15):	Corrélation facteurs variables.....	131

---

---

# *SOMMAIRE*

---

---

Fig (I.1):	Situation géographique de la wilaya d'El-Oued.....	04
Fig (I.2):	Carte topographique de vallée du Souf.....	06
Fig (I.3):	L'extension de la zone agricole d'El-Oued.....	12
Fig (II.1) :	Plan Géologique de Grand Erg Oriental.....	15
Fig (II.2):	La colonne litho stratigraphique du forage F1.....	17
Fig (II.3):	Coupe géologique N°01.....	24
Fig (II.4):	Coupe géologique N°02.....	25
Fig (II.5):	Coupe géologique N°03.....	25
Fig (II.6):	Coupe géologique N°04.....	26
Fig (III.1):	Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques.....	29
Fig (III-2):	Variation mensuelle interannuelle des températures.....	31
Fig (III.3):	Les Isohyètes de la moyenne des précipitations annuelles du Sahara de l'Algérie.....	32
Fig (III.4):	Répartition mensuelle interannuelle des précipitations	33
Fig (III.5):	Courbes pluviothermiques .....	35
Fig (III.6):	Diagramme d'Emberger de la station d'El Oued.....	37
Fig (III.7):	Ajustement statistique des précipitations annuelles de la station de Guemar suivant la loi normale.....	42
Fig (III.8):	Ajustement statistique des précipitations annuelles de la station de Guemar suivant la loi de Galton	45
Fig (III-9):	Distribution mensuelle interannuelle d'humidité (1984/2013).....	47
Fig (III.10):	Variation mensuelle interannuelle de vitesse des vents.....	48
Fig (III.11):	Durée moyenne mensuelle interannuelle d'insolation.....	49
Fig (III-12)	Variation de l'évaporation moyenne mensuelle.....	50
Fig (IV-1):	Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe	59
Fig (IV-2):	Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométriques et les sens d'écoulement.....	61
Fig (IV-3):	Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement.....	63
Fig (IV-4):	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).....	64

Fig (IV-5):	Carte de situation des stations d'essais de pompage.....	70
Fig (IV-6):	Courbe débit spécifique / Rabattement à F 31(Soualah).....	71
Fig (IV-7):	Courbe débit spécifique / Rabattement à F 58 (Hammadine).....	72
Fig (IV-8):	Essai de pompage longue durée à F31(Soualah).....	73
Fig (IV-9):	Essai de pompage longue durée à F 58 (Hammadine).....	74
Fig (IV-10):	Carte piézométrique de la nappe du complexe terminal.....	77
Figure (IV.11):	Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Complexe Terminal.....	78
Fig (IV-12) :	Rabattements 2000 – 2050 au CT (en m).....	80
Fig (IV-13):	Carte d'inventaire de Forage du CT sur la vallée d'Oued-Souf (2014).....	83
Fig (V-1):	Position des forages d'eau pour les analyses chimiques.....	89
Fig (V-2):	Carte de Température (°C).....	91
Fig (V-3):	Carte de pH.....	93
Fig (V-4):	Carte de conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ).....	94
Fig (V-5):	Carte de $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l).....	96
Fig (V-6):	Carte de $\text{Mg}^{2+}$ (mg/l).....	97
Fig (V-7):	Carte de $\text{Na}^{+}$ (mg/l).....	99
Fig (V-8):	Carte de $\text{K}^{+}$ (mg/l).....	100
Fig (V-9):	Carte de $\text{Cl}^{-}$ (mg/l).....	101
Fig (V-10) :	Carte de $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l).....	103
Fig (V-11):	Carte de $\text{HCO}_3^{-}$ (mg/l).....	104
Fig (V-12):	Carte de $\text{NO}_3^{-}$ (mg/l).....	105
Fig (V-13):	Diagramme de STABLER, (décembre 2014/ F02 à F41).....	107
Fig (V-14):	Diagramme de STABLER, (décembre 2014/ F45 à F100).....	108
Fig (V-15):	Diagramme de PIPER, (décembre 2014/ F02 à F41).....	110
Fig (V-16):	Diagramme de PIPER, (décembre 2014/ F45 à F100).....	110
Fig (V-17):	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (décembre 2014/ F02 à F28).....	111
Fig (V-18):	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (décembre 2014/ F31 à F72).....	112
Fig (V-19):	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (décembre 2014/ F75 à F100)	113
Fig (IV-20)	Diagramme ( $\text{Ca}^{2+}$ / $\text{Mg}^{2+}$ ).....	114
Fig (V-21):	Diagramme ( $\text{SO}_4^{2-}$ / $\text{Cl}^{-}$ ).....	115

---

Fig (V-22):	Diagramme ( $\text{Na}^{++} / \text{SO}_4^{2-}$ ).....	115
Fig (V-23):	Diagramme ( $\text{Na}^{+} / \text{Cl}^{-}$ ).....	116
Fig (V-24):	Diagramme ( $\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$ ).....	117
Fig (V-25):	Diagramme $\text{HCO}_3^{-} / (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^{-}) - \text{Conductivité}$ .....	118
Fig (V-26):	Concentration de calcium.....	120
Fig (V-27):	Concentration de magnésium.....	120
Fig (V-28):	Concentration de Sodium.....	120
Fig (V-29):	Concentration de Chlorures.....	121
Fig (V-30):	Concentration de Sulfates.....	121
Fig (V-31):	Concentration de Potassium.....	121
Fig (V-32) :	Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation (Selon la méthode de Richards 1954).....	126
Fig (V-33):	Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation (Selon la méthode de Wilcox (1948)).....	126
Fig (V-34):	Cercle des corrélations, plan F1/F2.....	132
Fig (V-35):	Cercle des corrélations, plan F1/F3.....	132
Fig (V-36):	Représentation des individus (forages), plan F1/F2.....	133
Fig (V-37):	Représentation des individus (forages), plan F1/F3.....	133

---



	<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>01</b>
<b>1.</b>	<b>PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :.....</b>	<b>03</b>
<b>1.1</b>	Situation géographique :.....	03
<b>1.2.</b>	Topographique d'El-Oued :.....	03
<b>1.3.</b>	Contexte sociologique :.....	06
<b>1.4.</b>	contexte économique :.....	08
	a. L'artisanat:.....	08
	b. Le commerce:.....	08
	c. L'industrie:.....	08
<b>1.5.</b>	L'agriculture à el-Oued :.....	09
<b>1.6.</b>	Ressources hydriques.....	10
	a. L'alimentation en eau potable (AEP):.....	10
	b. Les usages agricoles de l'eau (AEA) :.....	10
	c. Utilisation industrielle de l'eau (AEI) :.....	10
<b>II.1.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>14</b>
	..	
<b>II.2.</b>	<b>ASPECTS STRUCTURAUX.....</b>	<b>14</b>
<b>II.3.</b>	<b>LA PLATE-FORME SAHARIENNE:.....</b>	<b>14</b>
<b>II.3.</b>	<b>STRUCTURE GÉOLOGIQUE GENERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>II.4.</b>	<b>CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'OUED SOUF :.....</b>	<b>15</b>
<b>II.5.</b>	<b>STRATIGRAPHIE RÉGIONALE :.....</b>	<b>16</b>
<b>II.5.1.</b>	Formations de l'ère Secondaire :.....	18
<b>II.5.2.</b>	FORMATION DE L'ERE TERTIAIRE :.....	19
<b>II.5.3.</b>	FORMATION DU QUATERNAIRE :.....	20
<b>II.6.</b>	<b>GÉOMORPHOLOGIE DE SOUS SOL :.....</b>	<b>22</b>
<b>II.7.</b>	<b>ANALYSE DES LOGS DES FORAGES:.....</b>	<b>24</b>
<b>II.7.1.</b>	Les coupes géologiques dans la région d'Oued - Souf :.....	24

	II.7.1.1. Coupe N°1 :.....	24
	II.7.1.2. Coupe N°2 :.....	24
	II .7.1.3.Coupe N°3 :.....	25
	II .7.1.4. Coupe N°4 :.....	26
<b>II.8.</b>	CONCLUSION..... ...	27
<b>III.1.</b>	HYDRO-CLIMATOLOGIE:.....	29
<b>III.2.</b>	ETUDE DES ELEMENTS CLIMATIQUES.....	30
<b>III.2.1</b>	Les températures.....	30
•	2.1.1. Les températures moyennes mensuelles.....	30
	2.1.2. Les températures moyennes annuelles.....	31
<b>III.2.2</b>	Les précipitations.....	32
•	2.2.1 Les précipitations moyennes mensuelles.....	32
	2.2.2. Les précipitations moyennes annuelles.....	34
<b>III.3.</b>	Synthèse climatique :.....	34
<b>III.3.1</b>	Diagramme pluviothermique.....	34
•		
<b>III.3.2</b>	Climagramme d'Emberger:.....	36
•		
<b>III.3.3</b>	Indice d'aridité:.....	38
•		
<b>III.4.</b>	Etude statistique des précipitations de la station de Guemar.....	39
	a. Paramètres statistiques de la série pluviométrique :.....	39
	b. Recherche de la loi statistique d'ajustement :.....	39
	b.1. Ajustement suivant la loi normale (loi de Gauss) :.....	41
	b.2. Ajustement suivant la loi log-normal (loi de Galton):.....	44
	c. Discussion des résultats :.....	46
<b>III.5.</b>	L'humidité relative.....	46
<b>III.6.</b>	Les vents:.....	47
<b>III.7.</b>	L'insolation :..... ..	49

<b>III.8.</b>	L'évaporation..... ....	50
<b>III.9.</b>	CALCUL DES PARAMETRES DE BILAN HYDRIQUE :.....	51
<b>III.9.1</b>	Evapotranspiration :.....	51
•	a. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :.....	51
	b. l'évapotranspiration réelle (ETR):.....	52
	b.1. Methode de Thorntwaite:.....	52
	b.2. Formule de Turc :.....	53
<b>III.9.2</b>	Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) :.....	53
•		
<b>III.9.3</b>	Ruissellement (R):.....	53
•		
<b>III.9.4</b>	Etablissement du bilan :.....	54
•		
<b>III.10.</b>	CONCLUSION:.....	56
<b>IV.1.</b>	INTRODUCTION :..... ...	58
<b>IV.2.</b>	RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES :.....	58
<b>IV.2.1.</b>	La Nappe phréatique :.....	58
<b>IV.2.2.</b>	Complexe Terminal C.T :.....	60
<b>IV.2.3.</b>	Nappe du Continental Intercalaire C.I :.....	62
<b>IV.3.</b>	ESTIMATION DES RESERVES :.....	66
<b>IV.3.1.</b>	Estimation des épaisseurs mouillées :.....	66
<b>IV.4.</b>	CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE LA NAPPE (CT) :.....	67
<b>IV.4.1.</b>	Expérimentations des pompages d'essais:.....	67
	Interprétation d'essais des pompages :.....	67
<b>IV.4.2.</b>	Détermination des paramètres hydrodynamiques :.....	68
	IV.4.2.1. La transmissivité (T) :.....	68
	a) - L'approximation logarithmique (méthode de Cooper- Jacob) :.....	68
	b) - La transmissivité (méthode de Theis) :.....	68
	IV.4.2.2.Coefficient de perméabilité (K) :.....	68

	IV.4.2.3.Coefficient d'emmagasinement (S) :.....	69
<b>IV.4.3.</b>	Essais par pompage et interprétation des résultats :.....	69
	IV.4.3.1. Interprétation des données d'essai du pompage de longue durée :.....	71
	a)- Forage F 58 (Hammadine) commune de Magrane :.....	71
	b)- Forage F31 (Soualah) commune de Bayadha :.....	72
<b>IV.5.</b>	ETUDE PIEZOMETRIQUE:.....	75
<b>IV.5.1.</b>	Sens de l'écoulement:.....	78
<b>IV.5.2.</b>	Gradient Hydraulique :.....	79
<b>IV.5.3.</b>	Vitesse d'écoulement :.....	79
<b>IV.5.4.</b>	Rayon d'action :.....	79
<b>IV.5.5.</b>	Rabattements (2000- 2050) au CT.....	80
<b>IV.6.</b>	ASPECT QUANTITATIF DES FORAGES DE LA NAPPE DU CT.....	81
<b>IV.6.1.</b>	Forages à l'arrêt .....	81
<b>IV.6.2.</b>	Forages abandonnés.....	81
<b>IV.6.3.</b>	Volumes soutirés :.....	84
<b>IV.7.</b>	CONCLUSION :.....	85
<b>V.1.</b>	INTRODUCTION :.....	87
<b>V.2.</b>	METHODES ET STRATEGIE DE TRAVAIL :.....	88
<b>V.2.1.</b>	Prélèvements :.....	88
<b>V.2.2.</b>	Mesures in situ :.....	88
<b>V.2.3.</b>	Analyse des éléments chimiques :.....	88
<b>V.4.</b>	LES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES:.....	90
<b>V.4.1.</b>	Les paramètres physiques .....	90
	V.4.1.1. La température : .....	90
	V.4.1.2. Potentiel Hydrogène (pH) : .....	90
	V.4.1.3. La conductivité électrique :.....	92

<b>V.4.2.</b>	Les paramètres chimiques :.....	95
	V.4.2.1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ):.....	95
	V.4.2.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ).....	95
	V.4.2.3. Sodium ( $\text{Na}^+$ ) :.....	98
	V.4.2.4. Potassium ( $\text{K}^+$ ) :.....	98
	V.4.2.5. Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) :.....	98
	V.4.2.6. Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :.....	98
	V.4.2.7. Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) :.....	102
	V.4.2.8. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ).....	102
		102
<b>V.5.</b>	CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX :.....	106
<b>V.5.1.</b>	Représentation graphique des faciès hydrochimiques :.....	106
	V.5.1.1. Formule caractéristique de STABLER :.....	106
	V.5.1.2. Diagramme de PIPER .....	109
	V.5.1.3. Diagramme de SCHOELLER – BERKALOF.....	109
<b>V.6.</b>	ETUDE DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES ET ORIGINE DES ELEMENTS DOMINANTS :.....	114
<b>V.6.1.</b>	Rapports caractéristiques :.....	114
	V.6.1.1. Rapport $r \text{Mg}^{2+} / r \text{Ca}^{2+}$ : .....	114
	V.6.1.2. Rapport $r \text{SO}_4^{2-} / r \text{Cl}^-$ :.....	114
	V.6.1.3. Rapport $r \text{Na}^+ / r \text{SO}_4^{2-}$ :.....	115
	V.6.1.5. Rapport $r \text{Na}^+ / r \text{Cl}^-$ :.....	116
	V.6.1.5. Rapport $r \text{Ca}^{2+} / r \text{Cl}^-$ :.....	116
	V.6.1.6. Rapport $r \text{HCO}_3^- / r (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$ – Conductivité.....	116
		117
<b>V.7.</b>	INDICE D’ECHANGE DE BASE (i.e.b) :.....	118
<b>IV.8.</b>	QUALITE CHIMIQUE DES EAUX :.....	119
<b>IV.8.1.</b>	Potabilité des eaux (Norme et qualité) :.....	119
	IV.8.1. 1. Selon l’O.M.S : .....	119
	V.8.1.2. Normes selon le degré hydrométrique total (D.H.T) :.....	122
<b>V.8.2.</b>	Aptitude à l’irrigation : .....	122
	V.8.2.1. Salinité :.....	123
	V.8.2.2. Infiltration :.....	123

	V.8.2.2.1. Eaux peu salées :.....	123
	V.8.2.2.2. Eaux à forte teneur en sodium :.....	123
	V.8.2.2.2.1. Classification en fonction du sodium absorbé par le sol «SAR» RICHARD.....	124
	V.8.2.3. Etude de la toxicité des végétaux:.....	124
	V.8.2.3.1. Sodium :.....	125
	V.8.3.1.1. Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de WILCOX (1948):.....	125
	V.8.2.3.2. Chlore.....	
<b>V.9.</b>	ANALYSE STATISTIQUE (APPLICATION DE L'ACP):.....	127
<b>V.9.1.</b>	Principe :.....	127
<b>V.9.2.</b>	Résultats et interprétations :.....	127
<b>V.9.3.</b>	Application de l'ACP aux données chimiques des eaux de la nappe CT :.....	128
	V.9.3.1. Statistique descriptive des différentes variables :.....	128
	V.9.3.2. Matrice de corrélation :.....	129
	V.9.3.3. Etude des variables:.....	130
	V.9.3.3.1. Projection des variables :.....	130
<b>V.10.</b>	CONCLUSION:.....	134

# *Liste des Abreviations*

ABHS: Agence de Bassin Hydrographique Sahara  
ADE: Algérienne Des Eaux  
AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture.  
AEI : Alimentation en Eau d'Industrie.  
AEP : Alimentation en Eau Potable.  
ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques  
CI: Continental Intercalaire  
CT: Complexe Terminal  
DE : Direction de L'environnement  
DEM: Direction de L'Energie et des Mines.  
DSA : Direction des Services Agricoles.  
GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.  
ONA: Office National d'Assainissement.  
ONM : Office National Météorologique.  
PMH : Petite et Moyen Hydraulique.  
SAU : Surface Agricole Utile.  
STEP: Station d'Epuration.

---

---

# *INTRODUCTION GÉNÉRALE*

---

---



### *INTRODUCTION GÉNÉRALE*

L'Hydrogéologie est la science de l'eau souterraine à caractère pluridisciplinaire.

Ses objectifs sont l'acquisition de données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, le captage et la planification de l'exploitation de l'eau souterraine.

Ce travail est une approche pour comprendre l'hydrogéologie et l'hydrochimie de la zone d'étude, la priorité est aux applications et expérimentations sur le terrain. Seules les connaissances théoriques indispensables à la pratique de la prospection, de l'exploitation et de la potabilité de l'eau souterraine.

L'hydrogéologie est une discipline des sciences de la terre orientée vers les applications. Elle a pour objectifs, l'étude du rôle des matériaux constituant le sous sol et des structures hydrogéologique avec application des lois physique et chimique, dans l'origine, la distribution, la nature et les caractéristiques de gisement, les modalités de l'écoulement et les propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines. Elle applique les connaissances acquises sur la prospection, le captage, l'exploitation, la gestion, et la protection des ressources en eau des aquifères profonds.

L'hydrogéologie, dont la base fondamentale est la géologie, qui utilisant les méthodes et moyens de la prospection géophysique, des techniques de captage, de la géochimie des roches et des eaux, de l'hydrodynamique souterraine.

L'hydrodynamique souterraine est l'ensemble des aspects quantitatifs de l'hydrogéologie, c'est la partie de l'hydraulique relative à l'écoulement de l'eau souterraine, aux lois qui le régissent et à leurs applications.

L'hydrochimie est la connaissance des caractéristiques physiques et chimiques ou physico-chimiques, des processus de leur acquisition et de leur évolution, ainsi que des lois qui régissent les échanges entre l'eau, le sol, et le sous-sol, ou interaction Eau/Roche.

La région d'El Oued fait partie d'un des plus grands déserts du monde, elle recèle d'énormes réserves d'eaux souterraines. Ces eaux se trouvent sous forme de nappes aquifères contenant dans des horizons géologiques de différentes profondeurs et épaisseurs. Dans le grand Sahara algérien, deux célèbres réservoirs rencontrés; de bas en haut nous avons, le Continental Intercalaire dit (CI) et le Complexe Terminal dit (CT). Ces deux systèmes aquifères renferment plusieurs nappes d'eaux superposées l'une sur l'autre.

Le problème qui se pose est le manque d'informations sur la nappe du continental intercalaire pour cela, les méthodes d'approche utilisées sont multiples et complémentaires: un travail de bureau consiste à traiter des données bibliographiques et des données techniques des rapports de fin des forages, nous

---

---

*Chapitre I:*

Cadre Géographique

---

---

terminerons par un travail de terrain pour faire la campagne piézométrique de la nappe du complexe terminal et en prenant des échantillons des eaux pour faire les analyses hydrochimique.

A travers cette mémoire, une discussion descriptive sur l'influence des conditions: climatiques, géologique, hydrogéologiques, l'hydrodynamique et les aspects quantitatif, l'alimentation des aquifères, la circulation de l'eau. Finalement, une aperçue sur l'hydrochimie des aquifères, est son évolution géologique et chimique.

Cette mémoire s'organise en cinq chapitres

**-Le premier chapitre:** est la présentation générale de la zone d'étude, la situation géographique de la wilaya, les populations et leur répartition administrative, la densité, le cadre socio-économique, la nature topographique de terrain, les reliefs.

**-Le deuxième chapitre:** le milieu naturel et la géologie de la région ont été présenté depuis l'ère primaire jusqu'à l'ère quaternaire, où nous avons essayé de montrer la structure géologique régionale, les différentes phases lithologiques des étages sédimentaire, géomorphologique et tectoniques liées à l'histoire géologique de la région avec une aperçue sur l'outil géophysique.

**-Le troisième chapitre** a été consacré à la climatologie de la région, qui contient l'étude des différents paramètres climatologique telle que la précipitation, la température, l'humidité, les vents, l'insolation l'indice d'aridité, malgré le manque de données détaillées en absence des stations fonctionnelles. Plusieurs calculs abordés, pour l'établissement d'un bilan négatif qui ne permet pas une recharge satisfaisante des aquifères spécialement ceux à nappe libre, la calcule de coefficient de ruissellement, l'estimation de l'infiltration.

**-Le quatrième chapitre:** Contient deux parties la 1<sup>ère</sup> traite l'hydrogéologie de la région en présentant la succession des différents horizons aquifères.

La 2<sup>ème</sup> partie contient l'analyse hydrodynamique de la nappe du Complexe Terminal., basée sur l'étude de la circulation de l'eau, de son origine, son évolution dans le temps et dans l'espace

**-Le cinquième chapitre:** est consacré à l'hydrochimie qui permettant de connaître:

-L'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la région

-L'origine des éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K, Cl, F....).

-Les caractéristiques physico-chimiques (PH, DHT, conductivité,.....).

-La classification des eaux des différentes aquifères.

-La répartition des faciès et des éléments indicateurs de pollution, de salinisation, et leurs origines à savoir les chlorures, les sulfates, les nitrates et nitrites, le zinc.....etc.

Ce chapitre a permis aussi la détermination des apports vers la nappe, et a révélé la dégradation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

## 1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

### 1.1 Situation géographique : (Fig.1)

La wilaya d'El Oued se trouve au Sud-est de la république Algérienne démocratique et populaire, à **environ 700 Km au Sud-Est d'Alger**, Elle fait partie du Sahara Septentrional Nord-est, elle est couverte par des vastes dunes. La wilaya d'El-Oued est limitée

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

**Cette zone est limitée géographiquement 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.

La wilaya d'El-Oued occupe une superficie de  $44586 \text{ km}^2$ , avec une population de **679064 habitants**, donnant ainsi une densité de **de 15.23 hab/km<sup>2</sup>**. La région d'Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude, elle est située au centre d'une grande cuvette synclinale. Le Souf, nom berbère de rivière, synonyme de (Oued). La wilaya d'El-Oued est une région agricole, la forme de la culture consistait à creuser des cuvettes pour planter à proximité de la nappe phréatique, cette situation a fait que l'agglomération soit implantée à travers des entonnoirs ou cratères (les ghouts) rendant tout aménagement planimétrique du terrain difficile, et coûteux.

### 1.2. Topographie d'El-Oued : (Fig.2)

La région du SOUF se trouve dans la partie du grand Erg Oriental, qui se caractérise par un ensemble de dunes de sable d'origine Continentale et d'âge quaternaire. Ces dunes sont déposées longitudinalement portant la dénomination du (Sif ou Sabre) dépassent parfois 60 mètres d'hauteur.

Entre les cordons dunaires se forment les "Sahanés" ou les plateaux déprimés, souvent assez étendus et parfois caillouteux ou recouverts par des vieilles formations d'encroûtements gypseux du quaternaire

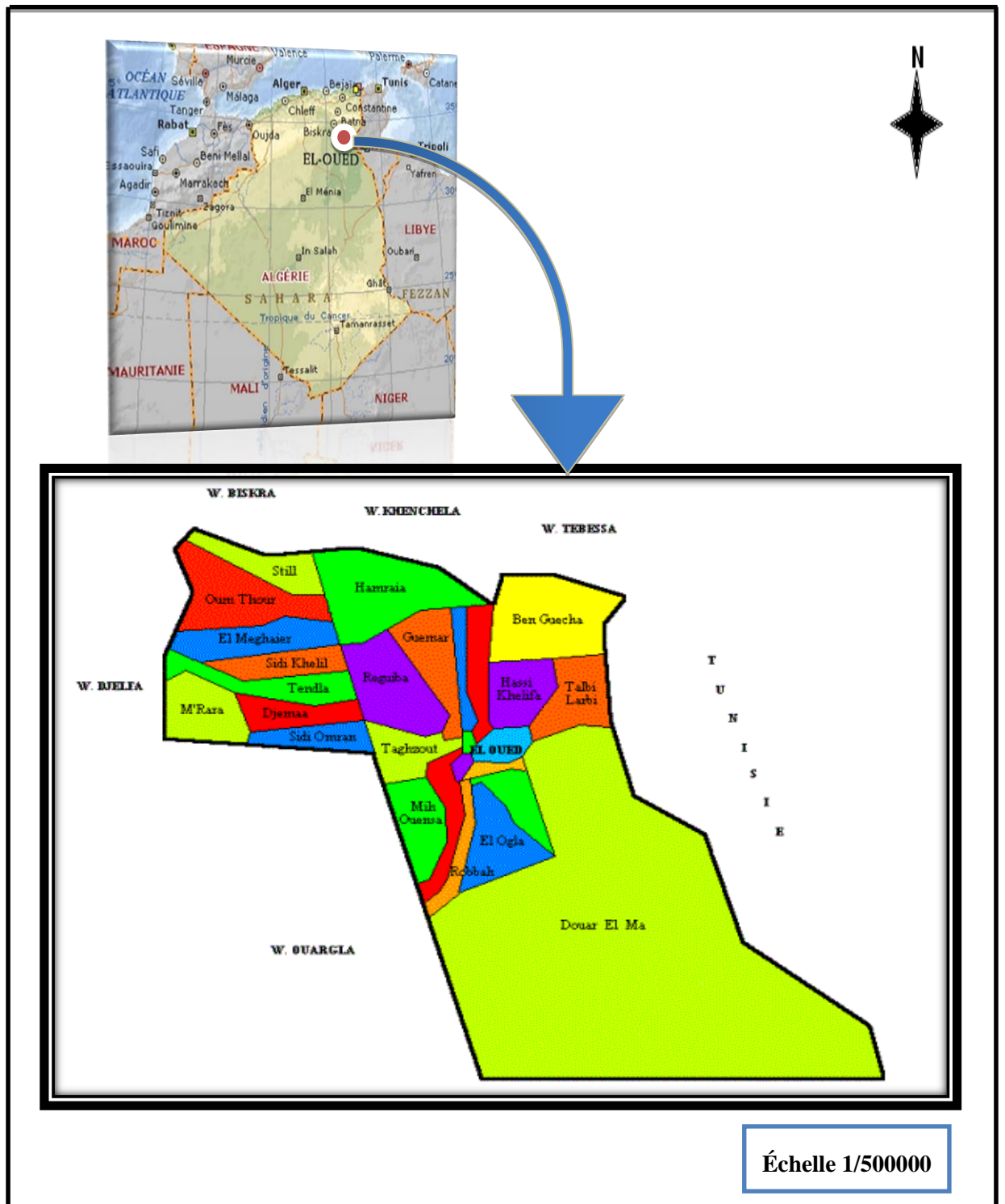


Figure (1): Situation géographique de la wilaya d'El-Oued

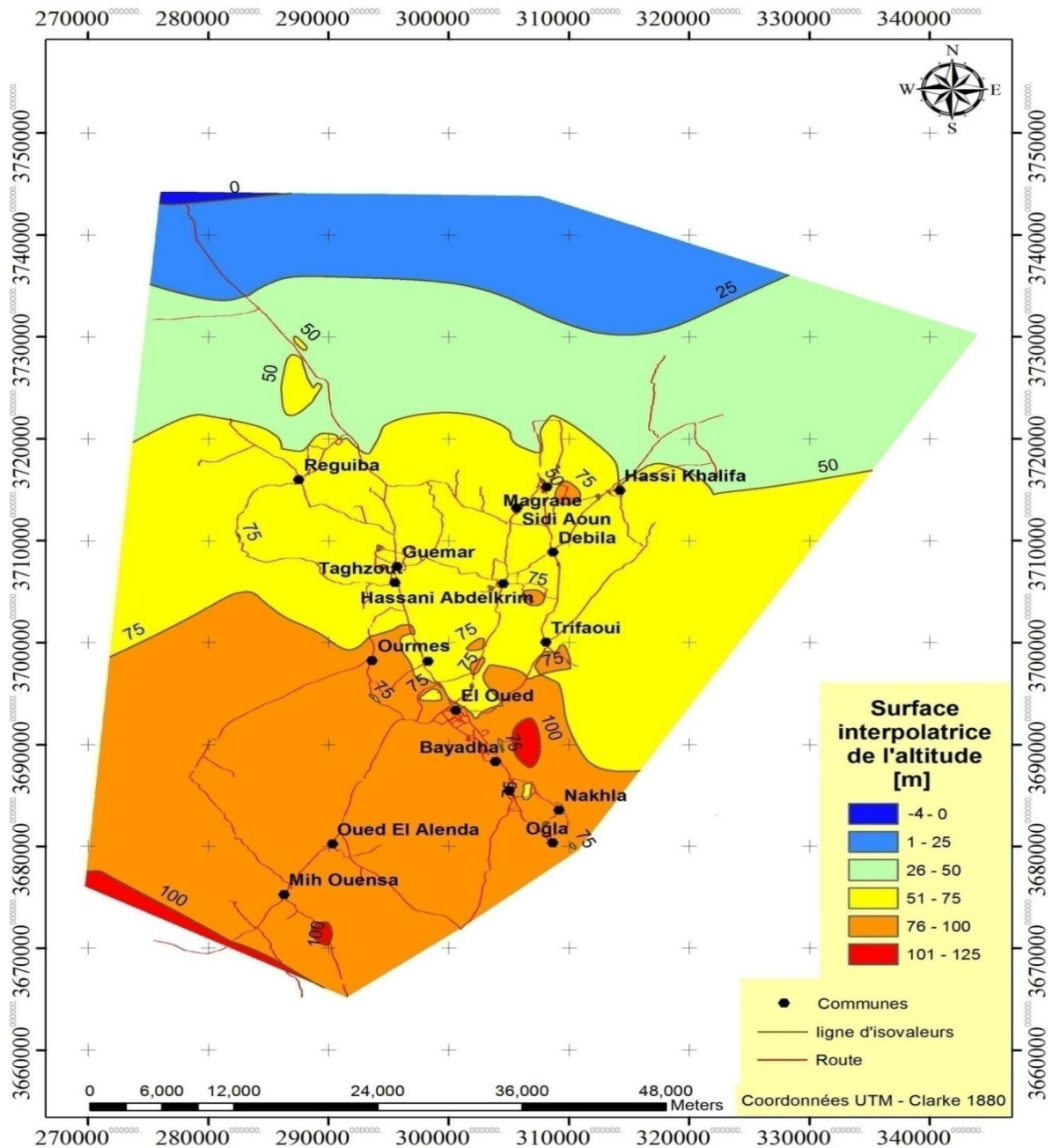
Le relief du SOUF est caractérisé par l'existence de trois principales formes:

- Une zone sableuse, qui se présente sous un double aspects, l'Erg et le Sahara.
- Une forme de plateau rocheux qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et crêtes rocheuses.
- Une zone de dépressions caractérisées par la présence d'une multitude de chotts qui plonge vers l'Est, du point de vue topographique la wilaya d'El-Oued se caractérise par une variation de cote progressive; l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour atteindre des valeurs négatives au niveau des chotts (75màEl-Ouedet– 6màMeghaier).

**Pente de terrain** (Tableau .1) : La pente de la zone d'étude est généralement orienté Sud-Nord, avec une pente moyenne très faible (l'ordre de 0.002 m/m à 0.003 m/m) et des incidents liés à la présence des dunes.

**Tableau(1) : Altitude moyenne des différentes communes d'El-Oued (DHW : 2010)**

<i>N°</i>	<i>Commune</i>	<i>Altitude Moy (m)</i>	<i>N°</i>	<i>Commune</i>	<i>Altitude Moy (m)</i>
<i>01</i>	<i>El Oued</i>	<i>77</i>	<i>10</i>	<i>Sidi Aoun</i>	<i>54</i>
<i>02</i>	<i>El-Ogla</i>	<i>91</i>	<i>11</i>	<i>Trifaoui</i>	<i>81</i>
<i>03</i>	<i>MouihOuansa</i>	<i>91</i>	<i>12</i>	<i>Bayadha</i>	<i>90</i>
<i>04</i>	<i>Hassi Khalifa</i>	<i>77</i>	<i>13</i>	<i>Ourmes</i>	<i>85</i>
<i>05</i>	<i>Hassani</i>	<i>66</i>	<i>14</i>	<i>Kouinine</i>	<i>75</i>
<i>06</i>	<i>Oued Allenda</i>	<i>83</i>	<i>15</i>	<i>Guemar</i>	<i>64</i>
<i>07</i>	<i>Magrane</i>	<i>60</i>	<i>16</i>	<i>Taghzout</i>	<i>78.5</i>
<i>08</i>	<i>Nakhla</i>	<i>85</i>	<i>17</i>	<i>Débila</i>	<i>62</i>
<i>09</i>	<i>Reguiba</i>	<i>57</i>	<i>18</i>	<i>Robbah</i>	<i>93</i>



Figure(2): Carte topographique de vallée du Souf (SIG 2009)

### 1.3. Contexte sociologique :

El-Oued 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 km<sup>2</sup> divisé en 30 communes(**Fig1**) avec une population de 679064 habitants et une densité de 15.23 hab/km<sup>2</sup>, le taux d'accroissement de population égale à 3.4% selon le recensement de l'ONS de 2008(**Tableau 2**).



**Tableau(2): Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparent par commune de la wilaya d'El-Oued.**

N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité (hab/km <sup>2</sup> )
1	El Oued	140625	77	1826,299
2	Kouinine	10590	116	91,2931
3	Réguiba	42420	1966	21,57681
4	Guemar	41225	1264	32,61472
5	Taghzout	14485	539	26,87384
6	Ourmés	6060	443	13,67946
7	Débila	26160	78	335,3846
8	HassaniAbdelkrim	23890	58	411,8966
9	HassiKhalifa	33115	1112	29,77968
10	Trifaoui	8640	474	18,22785
11	Magrane	25450	618	41,18123
12	SidiAoun	12670	480	26,39583
13	Robbah	22910	499	45,91182
14	Nakhla	13300	700	19
15	El Ogla	6380	1352	4,718935
16	Bayadha	34185	139	245,9353
17	Oued el Alenda	7020	712	9,859551
18	MihOuansa	17045	1111	15,34203
19	Hamraia	5420	2443.82	-
20	TalebLarbi	7965	1110	7,175676
21	Ben Guecha	2930	2642.18	-
22	Douar El Maa	6000	17852.5	-
23	El Meghaier	51680	1532	33,73368
24	Sidi Khalil	6740	840.33	-
25	Still	5280	904.8	-
26	OumTiour	11320	2116.37	-
27	Djamaa	53045	780	68,00641
28	SidiAmrane	22350	552	40,48913
29	Mrara	8410	1131.66	-
30	Tendla	9410	977.9	-
	<b>Total</b>	<b>676720</b>	<b>44586</b>	<b>15.17</b>



**1.4 .contexte économique :**

Les manifestations de la vie quotidienne traduisent un système d'organisation qui tient compte des possibilités économiques, de la vocation agricole, commerciale et artisanale. Les principales activités, il nous donne un aperçu général sur l'économie d'El-Oued sont :

**a. L'artisanat:**

El Oued à toujours était un centre artisanal, notamment pour les objets liés à l'ancienne technologie de l'agriculture .On note les activités artisanales, il s'agit des tailleurs, des tapissiers, des maçons, des cordonniers, des menuisiers, des bijoutiers, des forgerons.

**b. Le commerce:**

La ville d'El-Oued compte 7000 registres de commerces, et 10000registres l'ensemble de la wilaya d'El-Oued. Grâce à la position géographique entre trois Etats (Algérie, Tunisie, Libye), El-Oued à acquis une position stratégique exceptionnelle, on peut dire que la ville d'El Oued est un centre d'échange commercial, très actif, ainsi elle constitue le centre d'achat de toute la région d'El-Oued, d' où l'importance de son marché. Cette activité commerciale se traduit également par le grand axe commerçant qui, sur plus de 15km, s'allonge le long de la Route Nationale de Kouinine-Robbah où la densité commerciale y est forte au centre 15 à 20 établissements pour 100 m pour décroître vers les extrémités 4 à 5.

**c. L'industrie:**

Dans la foulée du commerce, un phénomène tout nouveau est apparu à El-Oued, l'industrie, depuis la décennie 1980, de petites unités privées se sont installer. On note des activités industriels dans cinq branches essentiels: les parfums et cosmétique, l'agro-alimentaire, les plastique, les matériaux de construction, les boissons .Aujourd'hui plus de 1600 personnes travaillent dans l'industrie. Voiciunbrefinventaire des unitésindustriellesd'El-Oued:

- parfums et cosmétique, 20 unités.
- transformation du plastique, 15 unités.
- Fabrication carrelage, 7 unités.
- transformation aluminium, 6 unités.
- Insecticides et détergents, 4 unités.
- Semoulerie, pâtes alimentaire, 3 unités.
- unité déminéralisation eau, 2 unités.

- unité de fabrication de peinture, 1 unité.
- unité de fabrication des boissons, 1 unité.

### 1.5. L'agriculture à el-Oued :

La Wilaya d'El Oued dispose d'une superficie agricole totale égale à 1591869hectares mais la superficie réellement exploitée est 62720 hectares, la superficie irriguée est égale à 60850 hectares. (Selon DSA : Direction de Service Agricole d'El-Oued en 2010).

L'agriculture est la principale activité de la région pour l'homme du souf comme culture dominante, la Pomme de terre, le tabac (Guémar), le Palmier dattier dans les ghouts.

Les ghouts saharienne fonctionne comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie; pour ne pouvant faire venir les eaux à eux, les soufis ont imaginé d'aller à elle, d'excaver suffisamment le sable pour que l'épaisseur restante soit 2m, planter alors les palmiers dans sol de façon à ce qu'ils aillent puiser l'eau par leurs propres racine, c'est le principe de la culture Bour (en sec), on n'importe pas d'eau d'irrigation mais le palmiers va chercher lui-même ce dont il a besoin.

Les limites des ghouts atteignent la frontière libyenne au sud et voisinent avec les Monts des Nemamchas, suivant une ligne passant par Negrine, s'étire à l'est à la frontière tunisienne et à l'ouest par l'immense oasis d'Oued Righ.

Actuellement il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs. La moyenne d'exportation est de 40000 tonnes/an.

L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit :

- Ovin : 500 000 têtes.
- Caprin : 153 000 têtes.
- Camelin : 27300 têtes.
- Bovin : 4700 têtes.

Cela permet d'avoir :

- Une production de viande rouge estimée à : 4700 tonnes/an.
- Une production de viande blanche estimée à : 2240 tonnes/an.
- Une production d'œufs estimée à : 27500000 Œufs/an.
- Une production laitière : 44000000 litres/an.

### 1.6. Ressources hydriques:(Tableau 3)

Dans la wilaya d'El-Oued et comme toutes les zones arides, les seules ressources en eaux sont souterraines, alors que leur mobilisation est primordiale.

Le potentiel des ressources en eaux souterraines, établi par la direction de l'hydraulique de la wilaya d'el-oued, se répartit comme suit:

- Nappe phréatique : 130 hm<sup>3</sup>.
- Nappes profondes : 4.90 Milliards hm<sup>3</sup> (soit 2.7 Milliards hm<sup>3</sup> pour le CT et 2.2 milliards hm<sup>3</sup> pour le CI).
- Total : 4.90 Milliards hm<sup>3</sup>. L'état actuel de la mobilisation des nappes souterraines est de 470 hm<sup>3</sup> par an à travers toute la Wilaya, mais seulement 405.08 hm<sup>3</sup> sont exploitées réellement (soit 86.19 % des ressources mobilisables).

#### a. L'alimentation en eau potable (AEP) :

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont principalement effectués à partir de 120 forages dans la nappe du Complexe Terminal (CT) et 2 forages dans la nappe Continent Intercalaire (CI).

En 2006, la mobilisation est de 242244 m<sup>3</sup>/j qui atteint 2018733 m<sup>3</sup>/j en 2012 où les ressources mobilisables à but d'AEP représentent 8.71 % du total de la mobilisation. Les besoins en eau domestique est évaluée à 175560 m<sup>3</sup>/j en 2012.

#### b. Les usages agricoles de l'eau (AEA) :

Les ressources en eau est fortement exploitées pour l'irrigation, la culture de la pomme de terre dans la zone d'étude a connu un fort développement depuis la fin des années 90. La superficie agricole irriguée en 2006 est 51456 ha est élevé à 60850 ha en 2010, sachant que le besoin en eaux d'un hectare est évalué à 16430 m<sup>3</sup>/an.

Ceux-ci s'effectuent essentiellement par le pompage au sein des forages des nappes profondes (CT et CI) qui sont en nombre de 498 actuellement (2012), et surtout de nombreux puits dans la nappe phréatique (autour de 22175 puits)

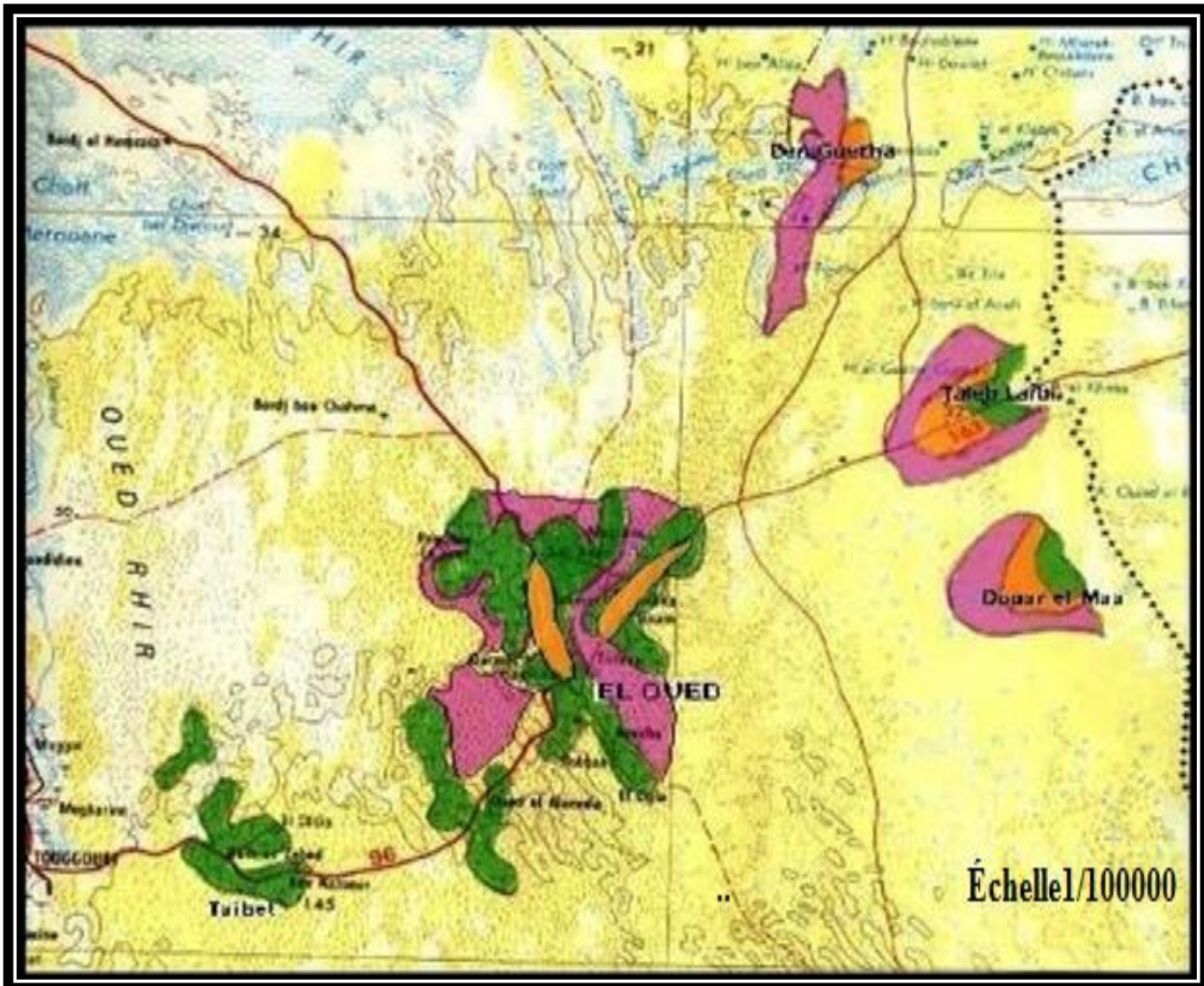
L'agriculture, qui utilise plus de 87 % des ressources en eau mobilisée, augmente de 979830 m<sup>3</sup>/j en 2012.

#### c. Utilisation industrielle de l'eau (AEI) :

La consommation d'eau industrielle est extrêmement variable et elle dépend évidemment du type d'industrie, et vu l'absence des industries à forte intensité d'eau (telles que l'industrie chimique, la sidérurgie et la pâte à papier...) les ressources mobilisables à des fins industrielles ne représentent que 0.5 % du total des ressources mobilisables de la vallée.

**Tableau(3) : Ressources hydriques dans la wilaya d'El-Oued (ANRH : 2005)**

<b>Nappe</b>		<b>Profondeur</b>	<b>Exploitation(puits/ forages)</b>
<b>Nappe phréatique</b>		<b>0 à 80 m</b>	<b>22175</b>
<b>Nappe du complexe terminal</b>		<b>150 à500 m</b>	<b>498</b>
<b>Nappe du Continental intercalaire</b>	<b>Plus de 1500 m</b>	<b>18</b>	



**LÉGENDE**

- Palmier datée
- Zone de mise en valeur
- Zone d'extension agricole (Sols irrigables)

**Figure(3): L'extension de la zone agricole d'El-Oued.**

---

---

*Chapitre II:*

Cadre Géologique

---

---

## **II.1. INTRODUCTION**

L'Algérie comprend quatre grands domaines géologiques du nord au sud:

- L'Atlas tellien (ou le Tell), constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja au centre, le Chelif à l'ouest et le Seybouse à l'est.
- Les Hauts Plateaux.
- L'Atlas saharien forme une longue suite de reliefs orientés **SO-NE** s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie.
- Le Sahara, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses (regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme El Oued, Ghardaïa et Djanet. Le massif des Eglab à l'ouest et le massif du Hoggar à l'est forment, pratiquement la limite méridionale du Sahara algérien.

## **II.2. ASPECTS STRUCTURAUX**

L'Algérie est divisée en deux unités tectoniques majeures séparées par la faille sud-atlasique

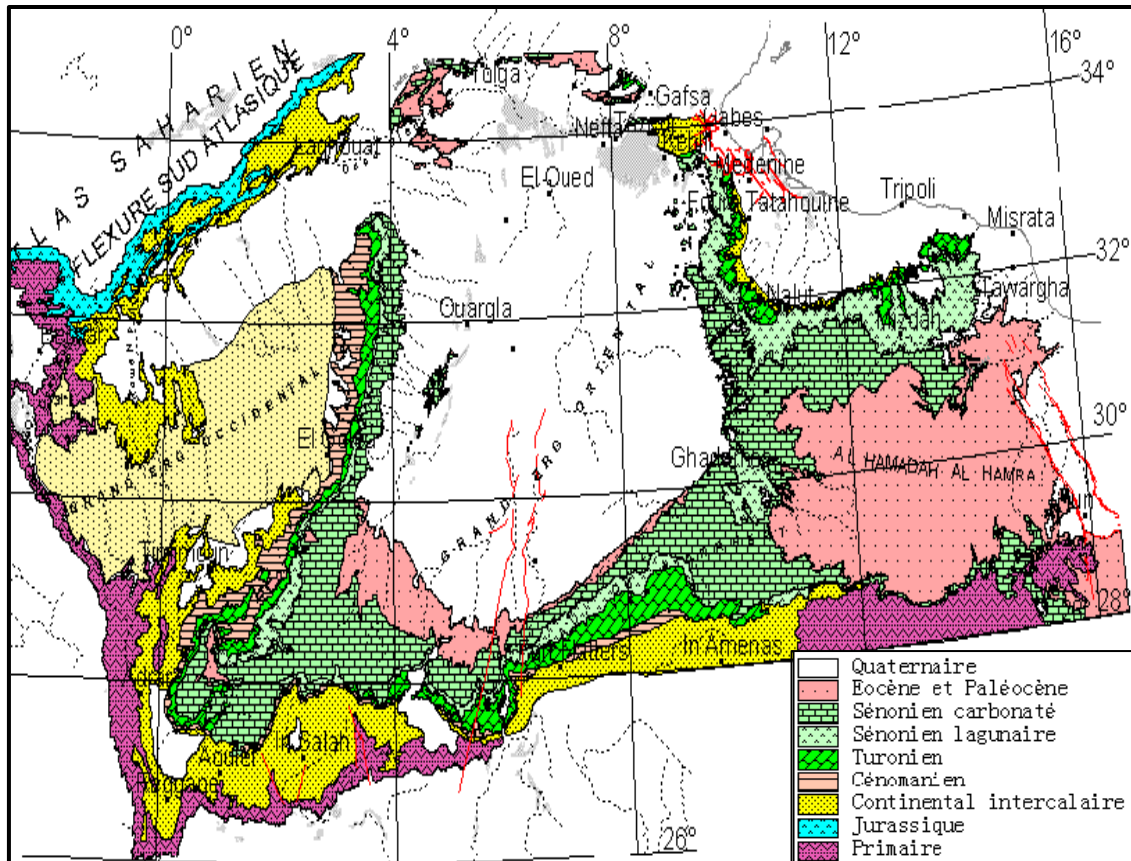
- ✓ Le Nord de l'Algérie portant l'empreinte de la tectonique alpine.
- ✓ La plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée.

## **II.3. LA PLATE-FORME SAHARIENNE:**

Elle est constituée d'un socle précambrien recouvert de sédiments phanérozoïques transgressifs.

Différents éléments tectoniques délimitent des bassins sédimentaires dans lesquels la lithostratigraphie est plus ou moins complète.





**Figure (II-1) :** Plan Géologique de Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005)

### II.3. STRUCTURE GÉOLOGIQUE GÉNÉRALE:

À la base de l'édifice sédimentaire, il y a des terrains paléozoïques marins contenant des niveaux aquifères salés et les gisements d'hydrocarbure au-dessus, et en discordance on rencontre des formations d'âge Secondaire et Tertiaire qui peuvent dépasser 3000 m de profondeur dans le centre du bassin (régions d'Ouargla, Touggourt, El Oued ainsi que sur la bordure des Aurès Ziban). Le Quaternaire représenté essentiellement par des sables dunaires, atteint parfois plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

L'existence de sable éoliens dans les dunes provient essentiellement de l'érosion du Hoggar.

### II.4. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'OUED SOUF :

La région d'étude est située exactement dans la partie Nord-est de la plate forme saharienne cette région a fait l'objet de plusieurs études géologiques.

Ces études montrent l'existence d'un seul type de terrain sédimentaire caractérisé par des formations détritiques particulièrement sableuses, elles apparaissent sous forme de dunes et anti-dunes



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

Le sous-sol de la région étant sableux et assurant l'infiltration et la circulation souterraines des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo-gréseuses du continental intercalaire, et des accumulations sableuses fulvio-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.

## **II.5. STRATIGRAPHIE RÉGIONALE :**

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre.

Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'ANRH (1993) sur la région d'Oued-Souf, nous pouvons citer les principales couches repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente (Fig.II.2).

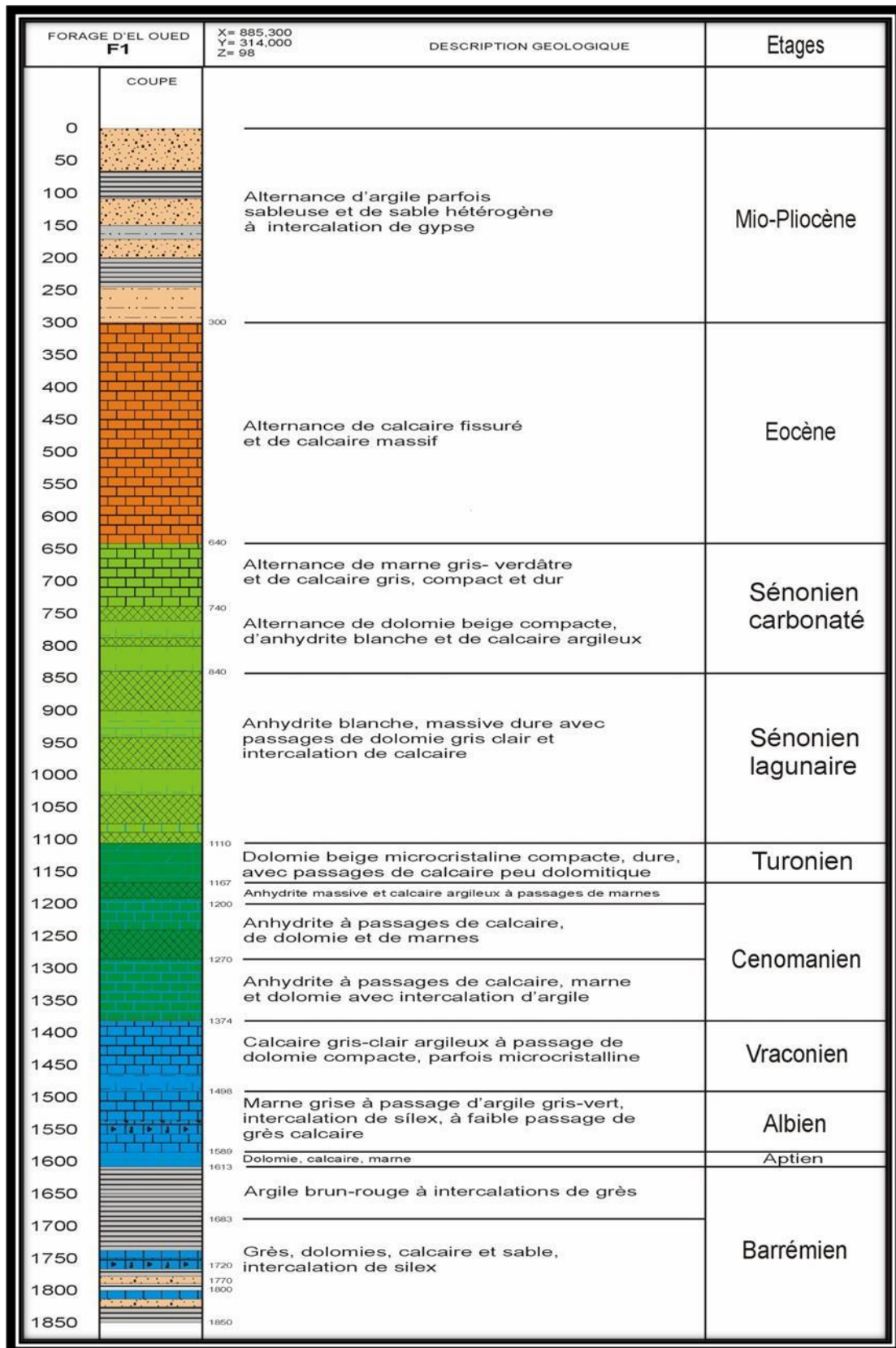


Figure (II-2): La colonne litho stratigraphique du forage F1, (ANRH, 1993).

**II.5.1. Formations de l'ère Secondaire :****II.5.1.1. Le Barrémien :**

Cet étage est capté par tout le forage du continental intercalaire réalisé 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.

**II.5.1.2. 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.

**II.5.1.3. 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.

**II.5.1.4. 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 peut trouver 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.

**II.5.1.5. Le Cénomaniens :**

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.

**II.5.1.6. 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.

**II.5.1.7. Le Sénonien :**

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

**➤ Sénonien lagunaire :**

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien.

Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

**➤ Le Sénonien carbonaté :**

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres.

Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

**II.5.2. FORMATION DE L'ERE TERTIAIRE :****II.5.2.1. 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.

**II.5.2.2. 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.

### **II.5.3. FORMATION DU QUATERNAIRE :**

Elles se présentent sous forme des dunes de sable dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localise 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.

Tableau (II-1): Les compositions lithologiques de la région d'étude

Ere		Système			Lithologie	Epaisseur Moy en(m)	
Cénozoïque	Quaternaire	Supérieur			Sables	54	
		Inférieur			Argiles	150-260	
	Tertiaire	Néogène (Mio-pliocène)		Pliocène	Plaisancien	Sables	150 – 200
					Tabianien	Argiles gypseuses	
				Miocène	Pontien	Sables grossiers; Gravier.	
		Paléogène	Oligocène		Argiles lagunaires ; marnes.		
			Eocène	Moyenne			
				Inférieure			
	Paléocène	Vitrollien		Calcaire fissuré			
	Secondaire (Mésozoïque)	Crétacé		Supérieur	Sénonien	Carbonaté	Calcaire fissuré
Lagunaire						Evaporites, argiles	≈ 150
Moyenne				Turonien		Dolomie, passage de calcaire peu Dolomitique	≈ 650
				Cénomanién		Argiles, marne	≈ 560
inférieure				Vraconien		Calcaire argileux dolomie	250 - 300
				Albien		Sables, Grés	100 – 200
				Aptien		Dolomie, calcaire, marne	≤ 30
				Barrémien		Grés, dolomie, calcaire, sable, silex	200 – 230
				Néocomien		Argiles sableuses, Sables	

(D'après DHW , 2005)

## II.6. GÉOMORPHOLOGIE DE SOUS SOL :

Le sous-sol présente des contrastes frappants. C'est ainsi qu'au Sud, à 6 km d'El-Oued et jusqu'à El-Ogla 24 Km plus loin, on remarque l'absence totale de « Tefza » (pierre à plâtre calcaire), alors que la roche de louss ou gypse se raréfie au fur et à mesure qu'on avance vers le sud d'atteindre le Reg ou plateau crétacé, dénudé, non couvert de sable.

D'El Oued jusqu'au Nord de Ghamra, tout au long des villages le louss forme une masse rocheuse plus ou moins compacte et profonde alors que, parallèlement, à l'Ouest, la tafza dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à 3 ou 4 mètres, occupe tout le terrain s'étendant de Tiksebt à Hobba, soit 25km.

Ce phénomène géologique se manifeste très distinctement suivant que l'on étudie, l'Ouest ou l'Est des agglomérations qui s'alignent d'El'Oued à Hobba ; prenons donc cette orientation Sud-Nord, Tiksebt Kouinine, Taghzout, Guemar, Ghamra et Hobba.

Ainsi, sur une distance de 25km environ, tous les terrains calcaires se trouvent à notre gauche. Le gypse (roche louss) ne s'y rencontre que par ilots. Par contre, il abonde par endroit au Nord-est des villages où l'on ne trouve aucune trace de tafza. Ici, la formation gypseuse apparaît sur une bande 2 à 4 km de large dans la direction Nord, puis Nord-Est. à l'Est de cette bande, le sous sol ne renferme guère de gisement, hormis quelques agglomérés de gypse et de terre, ressemblant à de minuscules roses de sable ; la terre de tercha; c'est le terrain «Sbekh» ou chotteux, suivi à l'Est par une bande uniquement, à eau; douce; puis un «Sahane» calcaire, aboutit non loin de béhima, le louss prend alors la relève avec saumâtre, jusqu'à 3 ou 4 km à l'Est et Sud-est de Z'goum. Au Nord de ces villages, c'est la tafza qui prédomine sauf à l'Est, et au Nord-est à «Hassi Khalifa» (36 km à l'Est d'El Oued) où le gypse devient compact et profond. Il est à préciser que le louss et la tercha sont des formations très différentes.

### ➤ **Le Louss:**

Est une roche géologique formée de cristaux de gypse en fer de lames imbriqués, elle se rencontre sous forme de couches continues, très dure et résistante de réseaux mélangés au sable, de bancs isolés ou de colonnes qui semblent être constituées autour d'anciennes racines gypseuses.

S'émoussent et se brisent à vouloir l'extraire ou la traverser. Des cultivateurs aisés utilisent parfois des cartouches de dynamite pour faire éclater ces gisements et réaliser l'épierrage du terrain. La pierre louss est utilisée pour sa solidité et son imperméabilité, dans la construction. On le rencontre surtout entre les deux routes el Oued-Ghamra et el Oued-Magrane ainsi qu'à l'est de Z'goum

➤ **La Tercha:**

Concrétion de grains de gypse et de sable agglomérés aux formes et tailles variées, formée de fins cristaux qui lui donnent un aspect de grès ; se rencontre en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, elle est composée de cristaux en fer. On la rencontre surtout à l'ouest de route Béhima-Sidi Aoun

Elle se présente soit sous la forme d'une rose de sable isolée ou amalgamée à d'autres, soit sous la forme de cristaux de la grosseur d'une phalange, poreux, arrondis et aplatis.

C'est cette dernière variété qu'on rencontre sur les terrains salés, en surface et en profondeur; friable, elle donne, après passage au four, un plâtre en tous points comparable au plâtre de paris: blancheur, facilité de prise, manque de granulation et résistance dans les sous sol, drainés par le ruissellement des eaux, les grains de tercha s'agglutinent aux racines des palmiers ou aux dépôts résiduels.

Ainsi, deux bandes de terrain sédimentaires, de formation bien distincte, renfermant des roches dissemblables, dont dépend la qualité de la nappe aquifère, longent de part et d'autre les principaux villages du Souf; de plus, il convient de noter l'alternance de bandes calcaires et gypseuses à l'Est.

La présence abondante de tercha, en surface, constitue un très important indice de terrains plus ou moins gypseux.

Il convient de remarquer dans ces formations la disposition en couches diffuses et compactes de la tafza ainsi que le caractère quelque peu discontinu de pierres gypseuses.

Une coupe dans le sol, nous permet de distinguer :

➤ **Salsala ou Smida :**

Se trouve en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, elle est composée de cristaux en fer comme le Louss, mais c'est plus fines et plus serrées.

➤ **Tefza :**

Ou pierre à plâtre c'est un grès blanc assez dur, et constitue la pierre à chauffer qui donnera le plâtre. elle se rencontre surtout à l'ouest de la route el Oued-Ghamra, ainsi qu'à l'est de Débila et Magrane.

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



## II.7. ANALYSE DES LOGS DES FORAGES:

### II.7.1. Les coupes géologiques dans la région d'Oued - Souf :

#### II.7.1.1. Coupe N°1 :

La coupe orientée SE-NW, en allant de la région EL-Ogla vers Sahan-Merdoum, on remarque les formations de MioPliocène représenté par des sables et argiles, avec une épaisseur de 309 m et les formations de Eocène constituées d'argile sableuse et gypse, sable grossier et calcaire. L'épaisseur de l'aquifère superficiel oscille entre 30m et 100m.

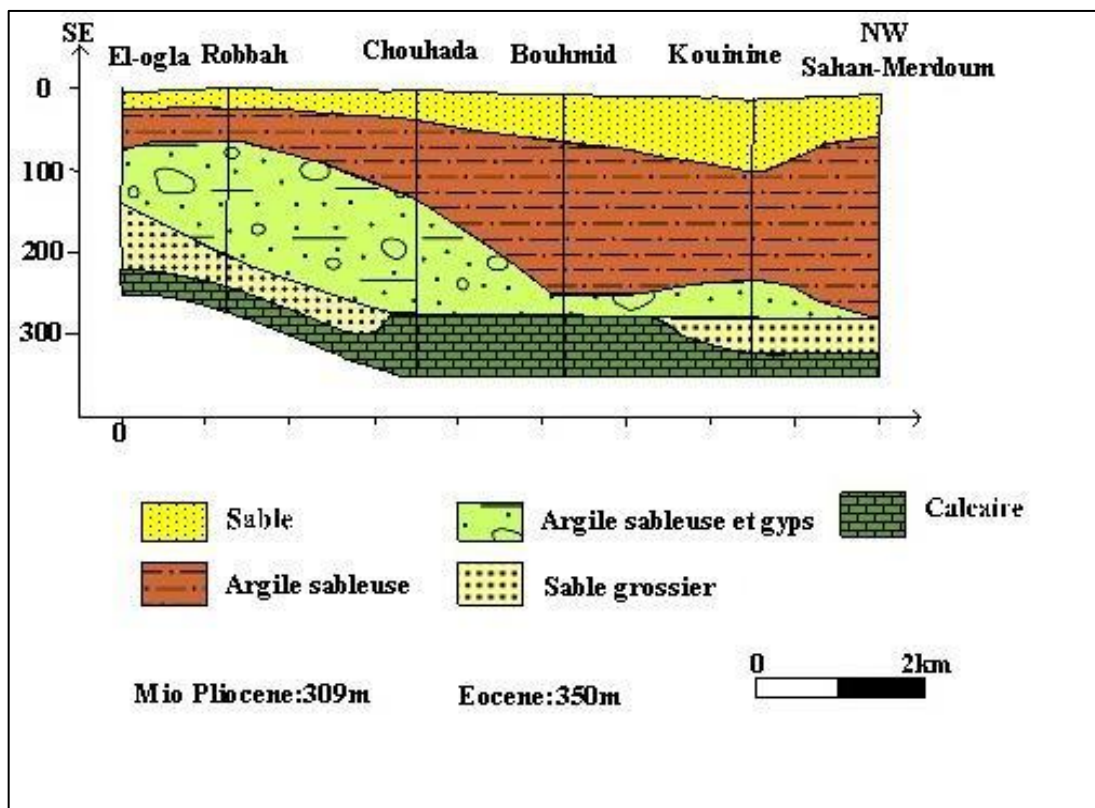


Figure (II-3): Coupe géologique N°01. (A.N.R.H, 1989)

#### II.7.1.2. Coupe N°2 :

La figure N°2 est établie sur la base des coupes de forages, elle est orientée du SE vers le NW. On remarque que l'épaisseur du Miopliocène qui est constitué par de sable, d'argile sableuse, et argile, l'Eocène est représenté par le sable grossier et les calcaire. L'épaisseur de l'aquifère libre oscille entre 60m et 105m.

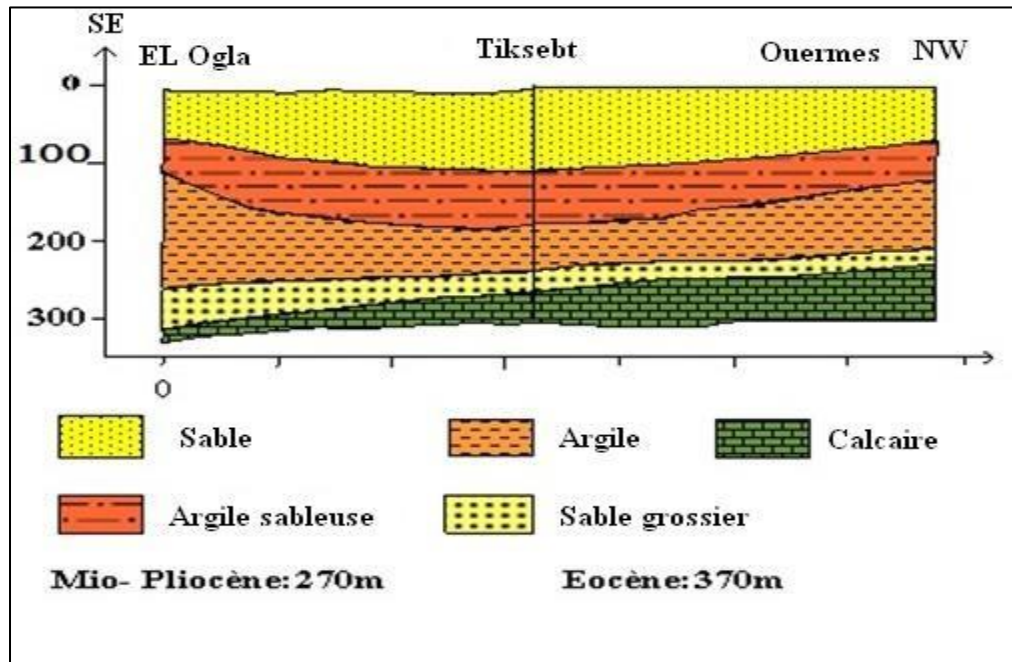


Figure (II-4): Coupe géologique N°02. (A.N.R.H, 1989)

II .7.1.3.Coupe N°3 :

La coupe est orientée du NE vers le SW. On remarque que l'épaisseur du Miopliocène qui est constitué par de sable, d'argile sableuse et argile, avec une épaisseur qui oscille entre 30 m et 110m. L'Eocène est constitué d'argile et de marne, de sable grossier et de calcaire. Nous remarquons dans cette coupe la présence de marne dans les formations superficielles de l'Eocène.

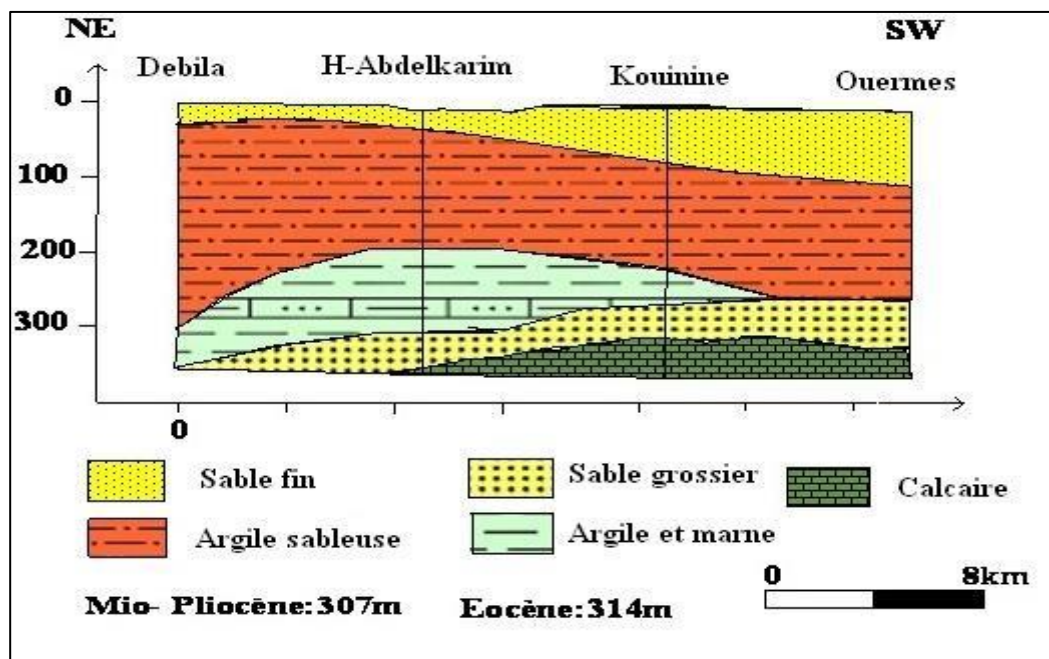


Figure (II-5): Coupe géologique N°03. (A.N.R.H, 1989)

II.7.1.4. Coupe N°4 :

La coupe est orientée du Sud vers le Nord, on remarque que l'épaisseur du Miopliocène qui est constitué par des sables et des argiles, l'Eocène est constitué de sable grossier, le calcaire est présent dans la partie nord , alors qu'il n'est pas atteint dans la partie sud.

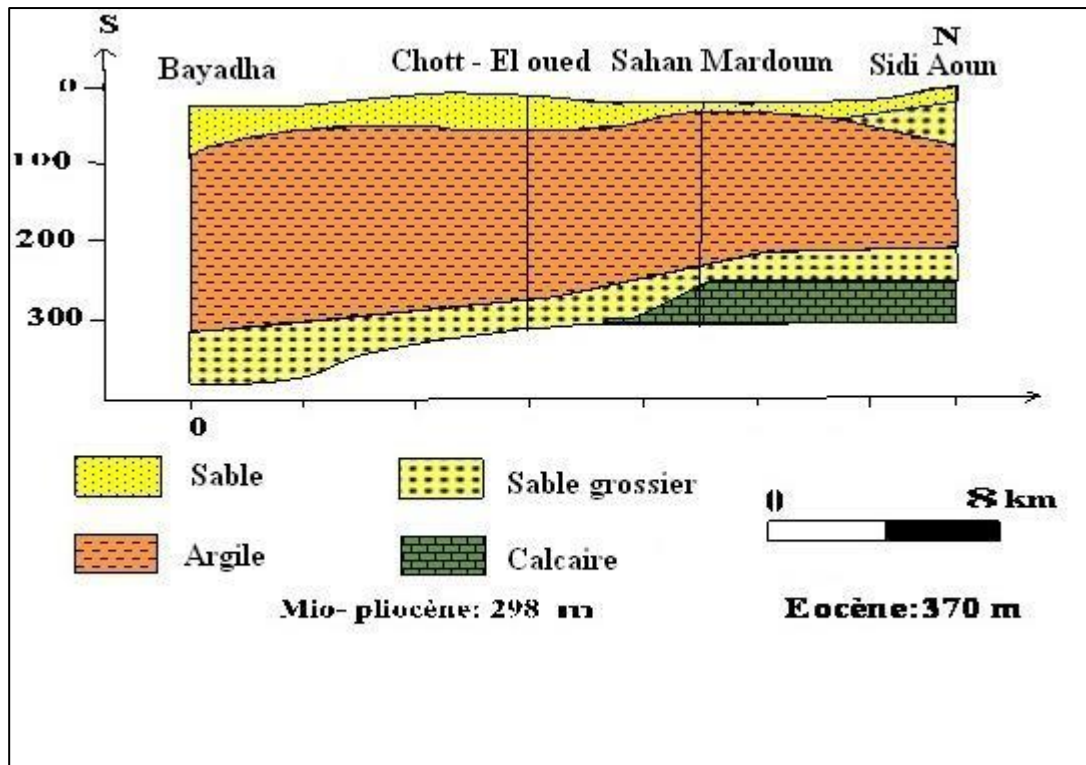


Figure (II-6): Coupe géologique N°04. (A.N.R.H, 1989)

**II.8. CONCLUSION**

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

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

---

*Chapitre III:*  
Hydroclimatologie

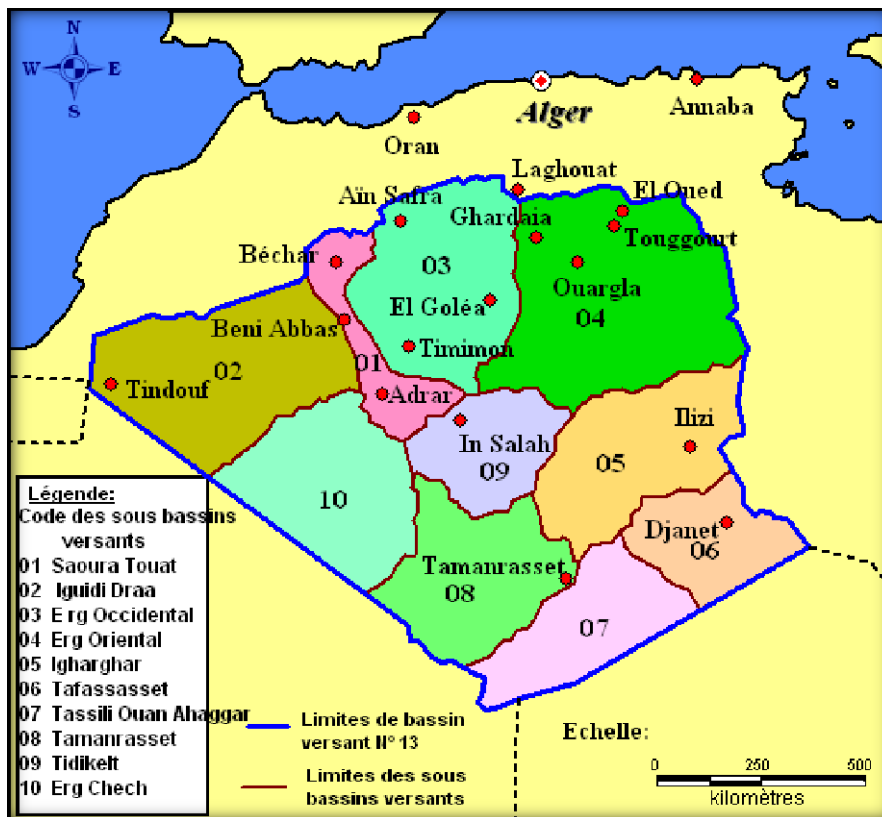
---

**III.1. HYDRO-CLIMATOLOGIE:**

L'étude hydro-climatologique a pour objet de ressortir les caractéristiques climatiques en se basant sur les données, mesurées depuis une trentaine d'années à la station de Guemar, qui sont représentative du climat régnant sur notre zone d'étude. Nous analyserons les : températures, précipitations, humidité relative, vitesse du vent, insolation et évapotranspiration.

Les différents sous bassins versants du Sahara algérien ainsi que les principales stations météorologiques actuellement en activité selon la carte (Fig. III-1) basée sur le découpage hydrologique adopté par l'ANRH (agence nationale des ressources hydrauliques).

La zone étudiée appartient au sous bassin n° 04 (Erg Oriental) inclus du grand bassin saharien.



**Fig. III-1:** Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse, No : 1/98 (Internet).

**Réseau d'observation :**

Pour analyser les paramètres climatiques, une station a été sélectionnée : station climatiques de l'ONM (Office National Météorologique) de Guemar, cette station représente la seule station existante dans la zone d'étude en plus de sa position au centre, ces données sont choisies durant une période de 30 ans (1984-2013).

**Tab.III.1** : Caractéristiques géographiques de station climatique.

N°	Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
01	Guemar	13 04 09	64	06°47'E	33°30'N

## III.2. ETUDE DES ELEMENTS CLIMATIQUES

### III.2.1. Les températures

Du fait de la pureté de leur atmosphère et souvent aussi de leur position continentale, les déserts présentent de forts maximums de température et de grands écarts thermiques.

Le sol s'échauffe beaucoup plus que l'air pendant la journée et sa température est, par la suite, nettement plus forte; sa surface est souvent à 60°C tandis que les couches d'air immédiatement voisines sont à 30°C seulement. Mais cet échauffement n'atteint pas la profondeur du sol: à 20 ou 25 cm, les variations diurnes deviennent insignifiantes et la température ne dépasse guère 30°C, ce qui permet la vie de nombreux animaux fouisseurs.

#### 2.1.1- Les températures moyennes mensuelles

Durant les 30 ans, (1984 – 2013) on remarque que l'année hydrologique dans la région d'El Oued est subdivisée en deux périodes:

Une période relativement froide allant du mois de novembre au mois d'Avril avec une température minimal au mois de Janvier (16.3°C), la température moyenne dans cette période est de (21.31°C). Une seconde période chaude du mois de Mai au mois d'Octobre avec un maximum au mois d'Aout (38.66°C), la température moyenne de cette période est (35.475°C).

Les données des températures durant la période (1984-2013) sont représentées dans le (Tableau III.2)

**Tableau (III.2):** Températures moyennes mensuelles à la station ONM d'El Oued (1984/2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
T(c°)	34.91	29.78	22.92	16.73	16.3	19.53	23..96	28.42	33.29	37.62	38.59	38.66

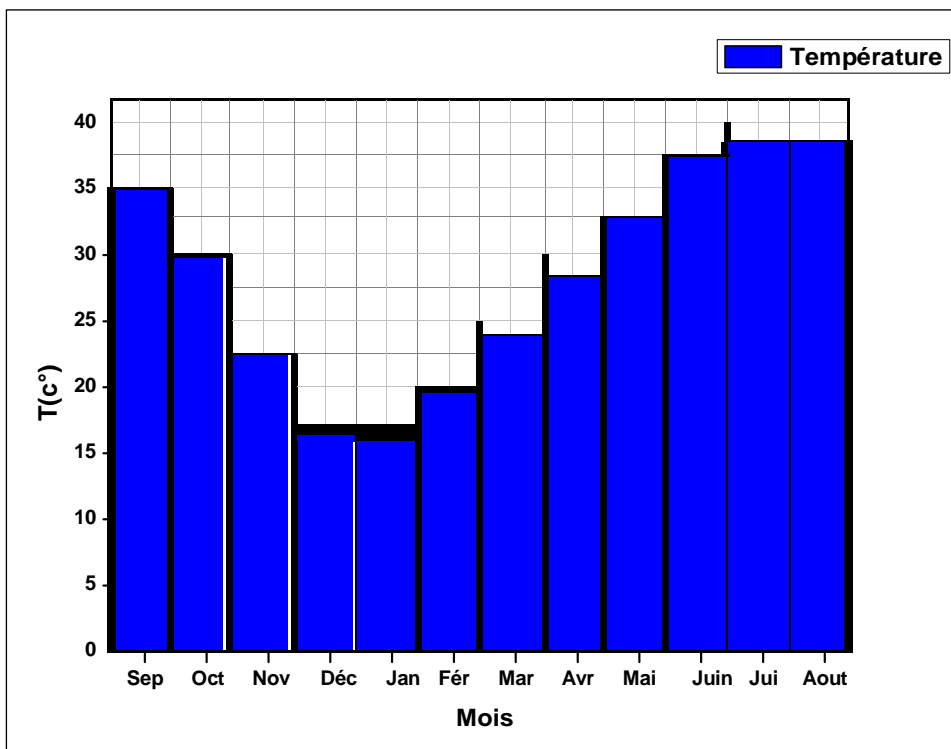


Figure (III-2): Variation mensuelle interannuelle des températures (1984/2013)

2.1.2- Les températures moyennes annuelles

Tableau (III.3): Températures moyenne annuelles de l'ONM d'El Oued (1984/2013).

Années	T(C°)	Années	T(C°)	Années	T(C°)
1984	26.64	1994	28.7	2004	28.28
1985	28.10	1995	28.3	2005	29.33
1986	27.18	1996	27.9	2006	28.48
1987	28.16	1997	27.06	2007	30.23
1988	28.12	1998	27.5	2008	29.45
1989	28.26	1999	28.47	2009	29.03
1990	28.56	2000	28.34	2010	28.48
1991	28.47	2001	28.42	2011	29.54
1992	27.09	2002	28.76	2012	28.83
1993	28.99	2003	28.4	2013	28.41



III.2.2. Les précipitations:

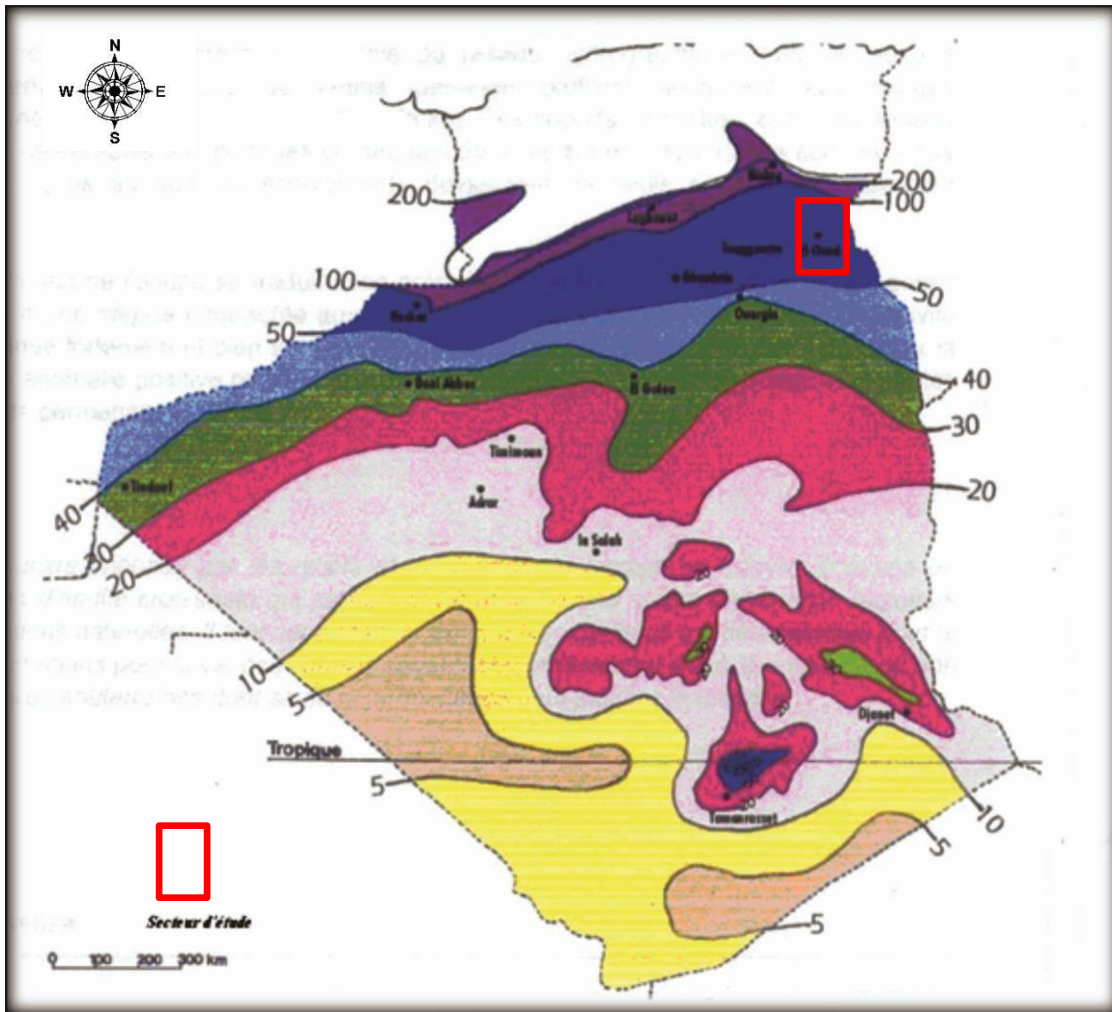


Fig. III-3: Les Isohyètes de la moyenne des précipitations annuelles du Sahara de l'Algérie D'après J. DUBIEF Le climat du Sahara 12; 1963

2.2.1- Les précipitations moyennes mensuelles

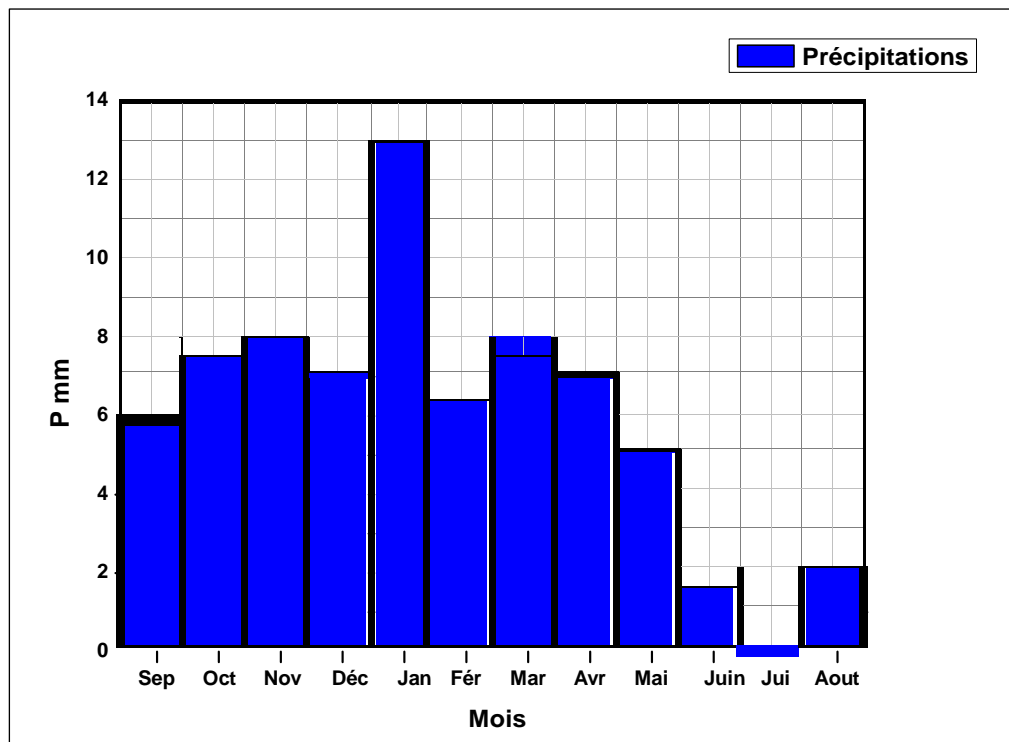
Les différentes formes de la précipitation sont: la pluie, la neige, brouillard, grêle, rosée, la quantité de la précipitation est mesurée à l'aide d'un pluviomètre.

Les données pluviométriques que nous allons traiter relevées de l'Office National Météorologique d'El-Oued (ONM), sont réparties sur une période de 30ans (1984-2013).

Tableau (III.4): Précipitations moyenne mensuelles de l'ONM d'El Oued (1984/2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
P mm	5.74	7.39	8.0	7.2	13.03	6.32	7.65	6.86	5.07	1.5	0.26	2.12

Selon les données concernant cette période, nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (**Figure III.4**).



**Figure (III.4):** Répartition mensuelle interannuelle des précipitations (1984/2013)

On constate que la saison la plus pluvieuse est l'hiver, le mois de janvier est le plus arrosé avec 13,03 mm. Par contre la saison la moins arrosée est l'été avec 0,26 mm pour le mois de juillet, 1,5 mm pour le mois de juin et 2,12 mm pour le mois d'Août.

### 2.2.2. Les précipitations moyennes annuelles

**Tableau (III-6) :** Précipitations moyenne annuelles de l'ONM d'El Oued (1984/2013)

Années	P (mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)
1984	78.3	1994	77.9	2004	79.1
1985	86	1995	18.5	2005	124.3
1986	106	1996	209.1	2006	37.3
1987	29.9	1997	47.6	2007	52
1988	88.4	1998	64	2008	32
1989	15.9	1999	46.5	2009	97.9
1990	45	2000	48.3	2010	133.5
1991	40.6	2001	60.1	2011	35.7
1992	90.2	2002	105.4	2012	121.3
1993	40	2003	72.6	2013	56.3

### III.3. Synthèse climatique :

La combinaison des données des précipitations et celles des températures permet de mettre en évidence :

- Les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviométrique de Gaussen;
- Le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger (climagramme d'Emberger) et/ou le calcul de l'indice d'aridité.

#### III.3.1. Diagramme pluviométrique :

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche et celle humide.

Un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations (in Baygnons).

Lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau ; et lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est humide.

A partir de ce diagramme, on constate que l'année hydrologique de la région d'étude est caractérisée uniquement par une période sèche et l'absence totale de la période humide, même pour le mois de janvier qui est marqué par la température la plus basse (16.3 °C) et la précipitation la plus élevée (13.03 mm).

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

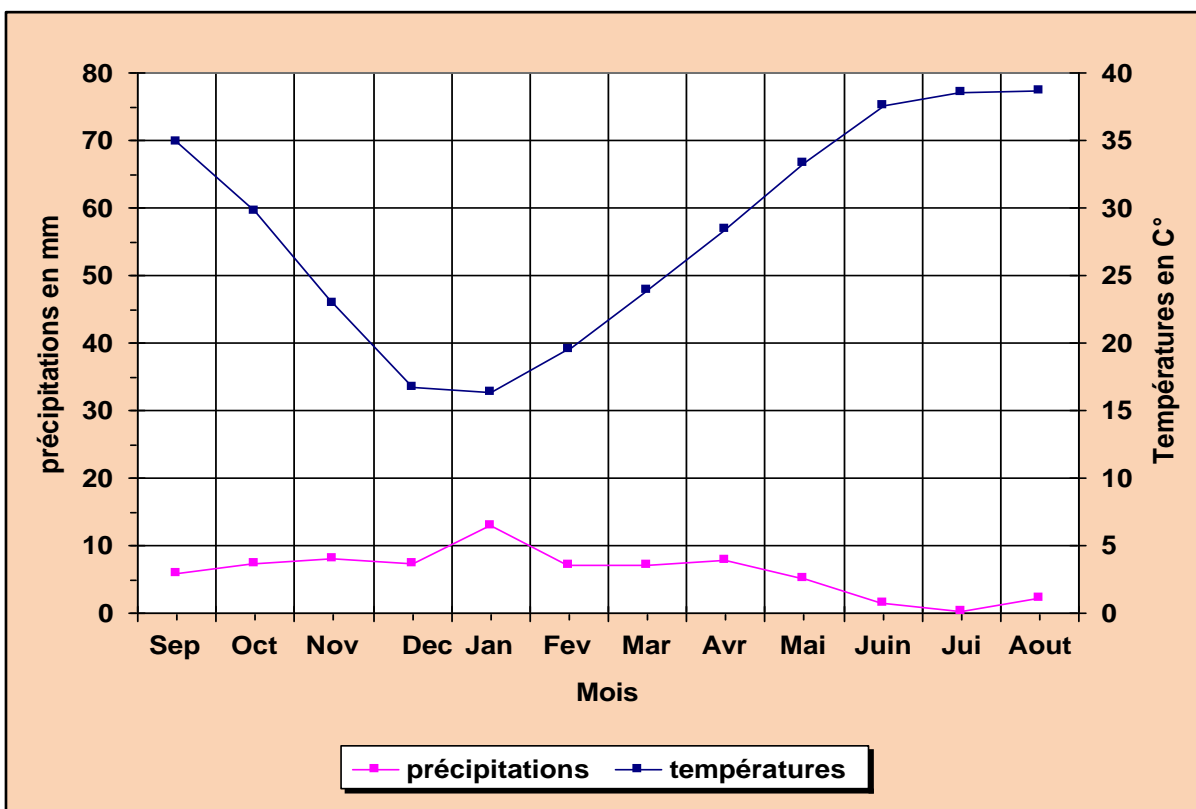


Figure (III.5): Courbes pluiothermiques (1984/2013)

**III.3.2. Climagramme d'Emberger:**

Le facteur d'Emberger est déterminé par la relation suivante

$$Q = 3,43 \times P / (M-m)$$

Où:

Q: facteur des précipitations d'Emberger

P: précipitations annuelles

M: la température du mois le plus chaud

m: la température minimale du mois le plus froid

D'après les données de la période de 30 ans on a :

P =71,32 mm

M =38,66 °C

m =16,33 °C

Donc Q =10.93 mm/°C

Selon la position sur le Diagramme d'Emberger, la région d'étude est caractérisée par un climat saharien avec un hiver chaud. (Voir Figure.6)

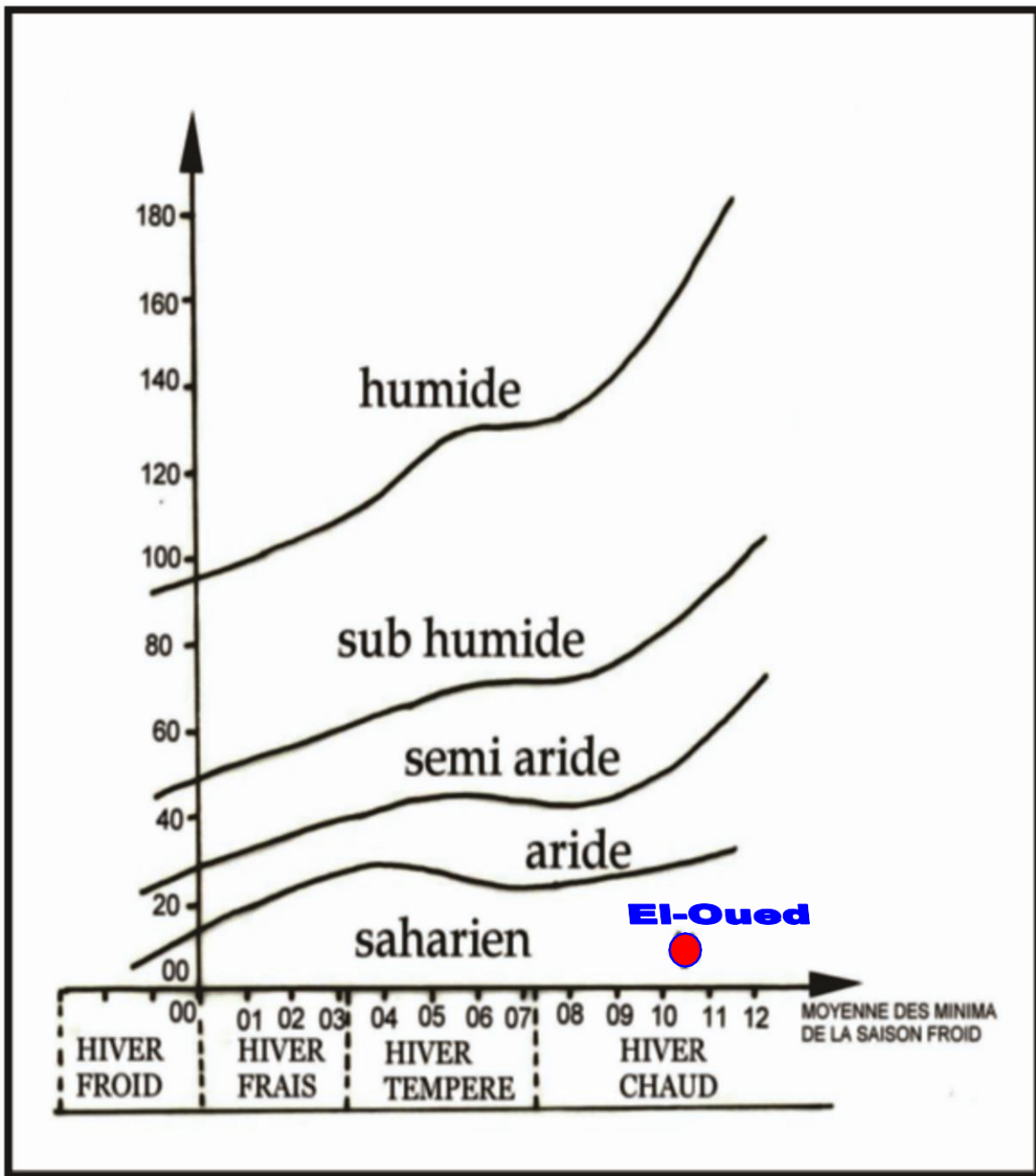


Figure.III.6. : diagramme d'Emberger de la station d'El Oued (1984-2013)

**III.3.3. Indice d'aridité:**

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

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

0 < I < 5.....Climat hyperaride  
 5 < I < 7,5.....Climat désertique  
 7,5 < I < 10.....Climat steppique  
 10 < I < 20.....Climat semi-aride  
 20 < I < 30.....Climat tempéré

$$I_a = \frac{71.16}{28.39 + 10} = 1.85$$

Ce qui confirme que notre région est caractérisée par un climat hyper aride.

**Tableau (III-7) :** Classification de type de climat de la région d'étude

Station	P (mm)	T(c°)	Ia	Observation
ONM Guemar	71.16	28.39	1.85	Hyper-aride

**III.4. Etude statistique des précipitations de la station de Guemar (Période 1984-2013)**

L'étude statistique qu'on va établir concerne les moyennes pluviométriques annuelles fournies par la station de Guemar durant la période allant de 1984 à 2013.

**a. Paramètres statistiques de la série pluviométrique :**

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad \text{---} \quad X = 73.32\text{mm}$$

- La moyenne annuelle :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_i - \bar{X})^2} \quad \sigma = 41,06 \text{ mm}$$

- L'écart type :

Avec  $X_i$  : Précipitation annuelle en mm.

N : Nombre d'années d'observation. (Égale à 30)

La variance : c'est la puissance carrée de l'écart type  $\sigma^2$ .

$$\sigma^2 = 1685,9236 \text{ mm}^2$$

Le coefficient de variation :

$$C v = \sigma / \bar{X}$$

$C v = 56.2\%$  (l'échantillon est légèrement dissymétrique)

**b. Recherche de la loi statistique d'ajustement :**

On cherche parmi les lois statistiques celles qui s'ajustent mieux à notre échantillon à savoir la loi normale (la loi de Gauss), la loi log-normale

On classe, tout d'abord, les totaux pluviométriques annuels par ordre croissant, puis on détermine la probabilité d'occurrence  $f(x_i)$  de chaque valeur classée ou la fréquence au non dépassement,  $f(x_i)$  calculé par le formule suivante :

$$f(x_i) = \frac{1}{N}(i - 0.5)$$

D'où  $i$  : est le rang de la valeur des totaux pluviométriques pris à partir de 1.



**Tab.III.8:** Valeurs des précipitations annuelles classées par ordre croissant et les probabilités correspondantes

Année	P (mm)	Rang (i)	Probabilité (%)	Année	P (mm)	Rang (i)	Probabilité (%)
1989	15.9	1	1.7	1998	64	16	51.67
1995	18.5	2	5	2003	72.6	17	55
1987	29.9	3	8.3	1994	77.9	18	58.33
2008	32	4	11.67	1984	78.3	19	61.67
2011	35.7	5	15	2004	79.1	20	65
2006	37.3	6	18.33	1999	86	21	68.33
1993	40	7	21.67	1985	88.4	22	71.67
1991	40.6	8	25	1992	90.2	23	75
1988	45	9	28.33	2009	97.9	24	78.33
1990	46.5	10	31.67	1986	105.4	25	81.67
1997	47.6	11	35	2002	106	26	85
2000	48.3	12	38.33	2012	121.3	27	88.33
2007	52	13	41.67	2005	124.3	28	91.67
2013	65.3	14	45	2010	133.5	29	95
2001	60.1	15	48.33	1996	209.1	30	98.33

**b.1. Ajustement suivant la loi normale (loi de Gauss) :**

La loi de Gauss s'exprime par :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{U^2}{2}} dU \quad \text{Avec : } U \text{ est la variable réduite / } U = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

Les individus portés sur un papier de Gauss d'échelle arithmétique en fonction de leurs probabilité au dépassement  $f(x_i)$ , la représentation montre que l'échantillon s'aligne suivant un nuage des points droite ce qui vérifie l'ajustement (l'adéquation) de celle-ci à la loi de Gauss.

$$X_i = \bar{X} + \sigma \cdot U$$

**Donc :  $X_i = 73.32 + 41.06 U$**

Avec  $\bar{X}$  : La moyenne annuelle des précipitations (mm).

$\sigma$  : L'écart type des précipitations (mm).

U : Variable réduite de Gauss.

Pour tracer la droite, il faut qu'on a au moins deux (02) points :

- Dans le cas précis,  $U=0$ , l'équation devient  $X_i = \bar{X}$  alors  $X_i = 73.32$  mm
- On prend  $U=2$ ,  $\bar{X}_i = 73.32 + 41.06 \times 2$ , alors  $X_i = 155.44$ mm

Donc la droite de Henry passe par les deux points qui ont les coordonnées suivantes :

P1(0;73.32) et P2(2;155.44)

➤ Calcul de fréquence et le temps de retour de l'année la plus sèche (1989):

$$U_{1989} = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} = \frac{15.9 - 73.32}{41.06} = -1.3984$$

$$F = 0.017 = 1.7\%$$

$$F < 50 \% \Rightarrow T = \frac{1}{0.017} \Rightarrow T = 59 \text{ ans.}$$

➤ Calcul de fréquence et le temps de retour de l'année la plus arrosée (1996):

$$U_{2001} = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} = \frac{209.1 - 73.32}{41.06} = 2.94789$$

$$F = 0.9833 = 98.33\%$$

$$F > 50 \% \Rightarrow \bar{F} \Rightarrow T = \frac{1}{1 - 0.9833} \Rightarrow T = 60 \text{ ans.}$$

On peut conclure qu'on peut avoir tous les 60 ans, une année de pluviométrie supérieure à 209.1 mm et chaque 59 ans, une année de précipitation inférieur ou égale à 15.9 mm.

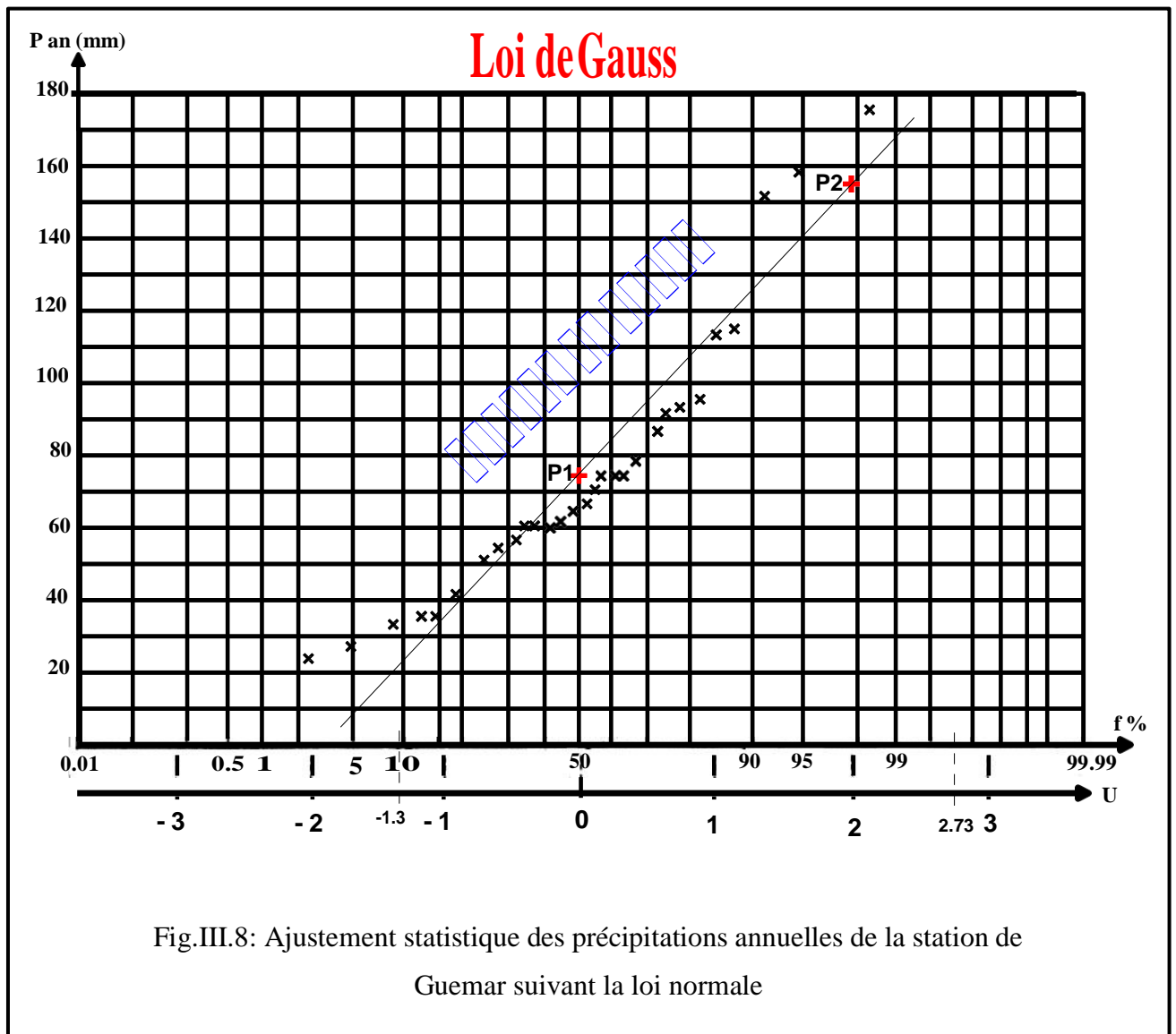


Fig.III.8: Ajustement statistique des précipitations annuelles de la station de Guemar suivant la loi normale

• **Test d'adéquation du  $\chi^2$  en loi normale :**

Le but de ce test est de juger l'adéquation d'un échantillon à une loi donnée. Pour calculer la valeur du  $\chi^2$ , on procède de la manière suivante :

- Subdivision de l'échantillon en K classes d'égales probabilités théoriques contenant chacune le même effectif théorique (TH).
- Détermination des limites de classes et calcul des effectifs observés (O).

Le  $\chi^2$  est calculé alors par la loi suivante :

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - TH)^2}{TH}$$

Le degré de liberté  $\nu$  est déterminé par la loi suivante :

$$\nu = n - p - 1$$

Avec n : nombre de classes =5.

P : paramètre de la loi (1 par paramètre calculé).

I : Pour l'égalité des effectifs ( $\sum TH = \sum O$ ).

On a N = 30, donc on prend le nombre de classe n = 5, les classes ont toutes d'égale probabilité

Pi :  $P_i = I/n = 0.2$

$$TH = \frac{N}{5} = \frac{30}{5} \Rightarrow TH = 6$$

L'effectif théorique (TH) de chaque classe est :

**Tab.III.09** : Précipitations correspondantes aux probabilités de dépassement.

Pi cumulées	U	x (mm)
0.2	-0.82	40.2
0.4	-0.25	63.6
0.6	0.25	84.4
0.8	0.82	108.7
1	/	/

**Tab. III.10** : Les résultats du calcul du  $\chi^2$  en loi normale.

N° de classe	Limites de classe	Effectif théorique (TH)	Effectif observé (O)	$\frac{(O - TH)^2}{TH}$
1	< 40.20	6	5	0.17
2	40.20-63.6	6	9	1.5
3	63.6-84.4	6	7	0.17
4	84.4-108.7	6	4	0.67
5	> 108.7	6	5	0.17
$\sum \frac{(O - TH)^2}{TH}$				2.68

La table de Pearson du  $\chi^2$  nous donne la valeur de la probabilité du  $\chi^2$  par rapport à un seuil de dépassement estimé à 0.05. Si le  $\chi^2$  théorique est supérieur à  $\chi^2$  calculé de 0.05, cela signifie que notre échantillon suit la loi de distribution testée, si le P( $\chi^2$ ) est inférieur à 0.05, notre échantillon ne s'ajuste pas à la loi de distribution testée.

Dans notre cas, le  $\chi^2$  calculé par la formule est égale à 2.64, le  $\nu = 2$ , d'après la table on a P( $\chi^2$ )=0.36, cette valeur est supérieure à 0.05, donc l'échantillon s'ajuste suivant la loi normale.

**b.2. Ajustement suivant la loi log-normal (loi de Galton):**

La représentation graphique sur papier log-normale montre une légère convexité, l'équation de la droite d'ajustement (droite d'Henry) est de la forme :

$$\text{Log} (\bar{X} - X_0) = (1/a U) - (b/a)$$

Avec : a et b : coefficients d'ajustement.

U : variable de Gauss.

$X_0$  : paramètre de position ( $X_0 = 0$ ).

$$a = 1.517 / (\text{Log} (1 + \sigma^2 / (\bar{X} - X_0)^2))^{1/2}$$

Nous avons  $\bar{X} = 73.32$  mm et  $\sigma = 41.06$  mm ;

$$a = 4.74$$

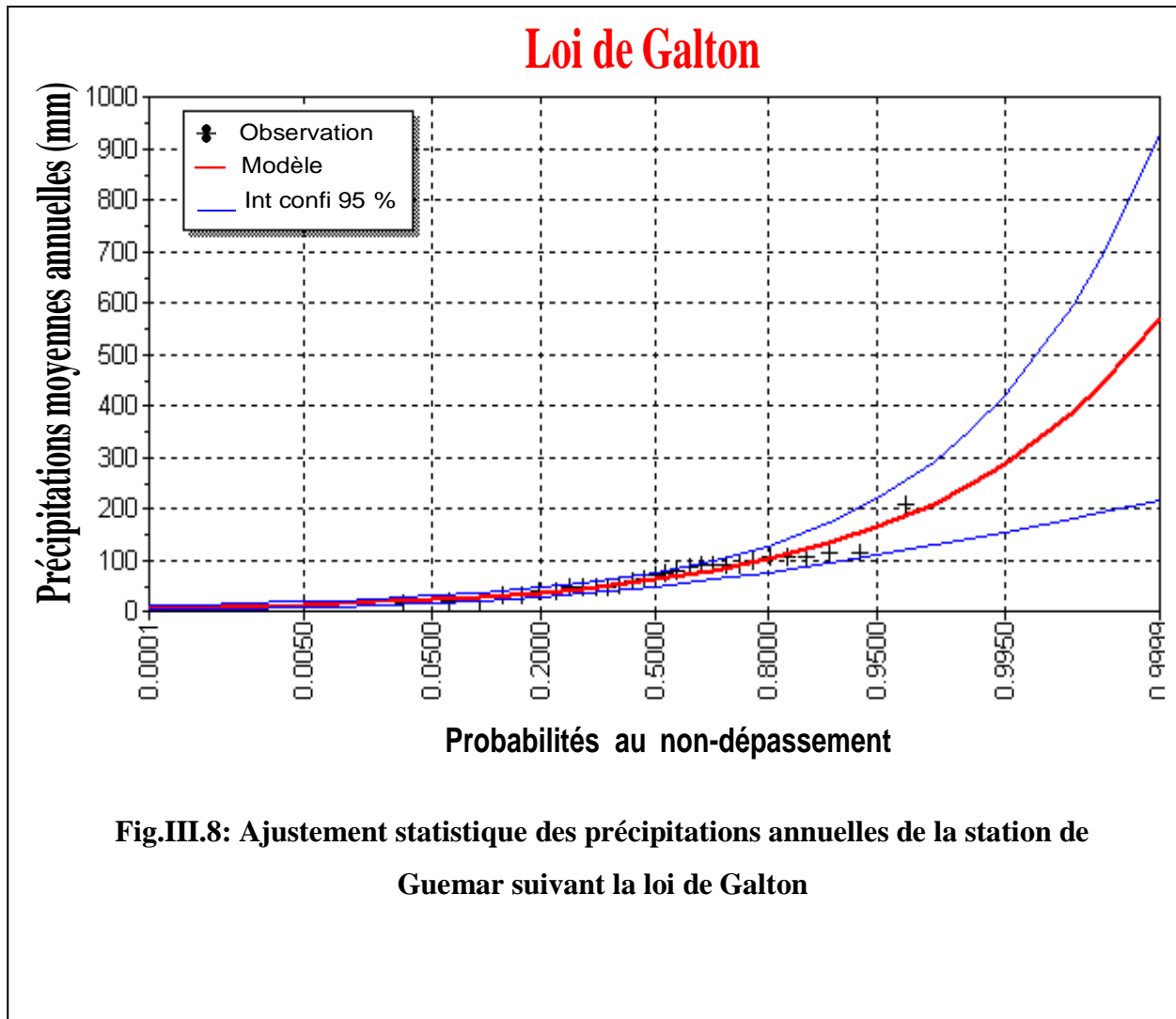
$$b = (1.1513/a) - \text{Log} (\bar{X} - X_0)$$

$$b = -1.63$$

L'équation de la droite d'Henry s'écrit donc :

$$\text{Log} (\bar{X} - X_0) = (1/a U) - (b/a)$$

$$\text{Log } X = 0.21U + 0.3$$



- Test d'adéquation du x2 en loi log-normale:

Tab.III.11 : Calcul du x2 en loi log-normale

N° de classe	Limites de classe	Effectif théorique (TH)	Effectif observé (O)	$\frac{(O - TH)^2}{TH}$
1	< 40.43	6	5	0.034
2	40.43-54.87	6	4	0.134
3	54.87-71.07	6	8	0.134
4	71.07-96.44	6	8	0.134
5	> 96.44	6	5	0.034
$\sum \frac{(O - TH)^2}{TH}$				0.47

Donc x2 calculé est égale à 0.47 pour  $\nu = 2$ , après les calculs on obtient  $P(\chi^2) = 0.38$ .

**c. Discussion des résultats :**

Tab. III.12: Comparaison de l'adéquation des lois testées au test du x2.

Type de loi	x2	P ( $\chi^2$ )
Loi normale	2.68	0.36
Loi log-normale	0.47	0.38

On juge généralement l'adéquation d'une loi à un échantillon par la probabilité du  $\chi^2$ , l'échantillon s'ajuste à la loi pour laquelle le P ( $\chi^2$ ) est le plus élevé. D'après les valeurs du P ( $\chi^2$ ), notre échantillon s'ajuste mieux à la loi log Normale, cette dernière est la mieux adaptée aux régions arides (désertiques).

**III.5. L'humidité relative**

L'humidité relative est le rapport entre la tension de vapeur d'eau « e » et la tension de vapeur saturant « ew » a la même température exprimé en % «  $U = e / ew * 100$  ».

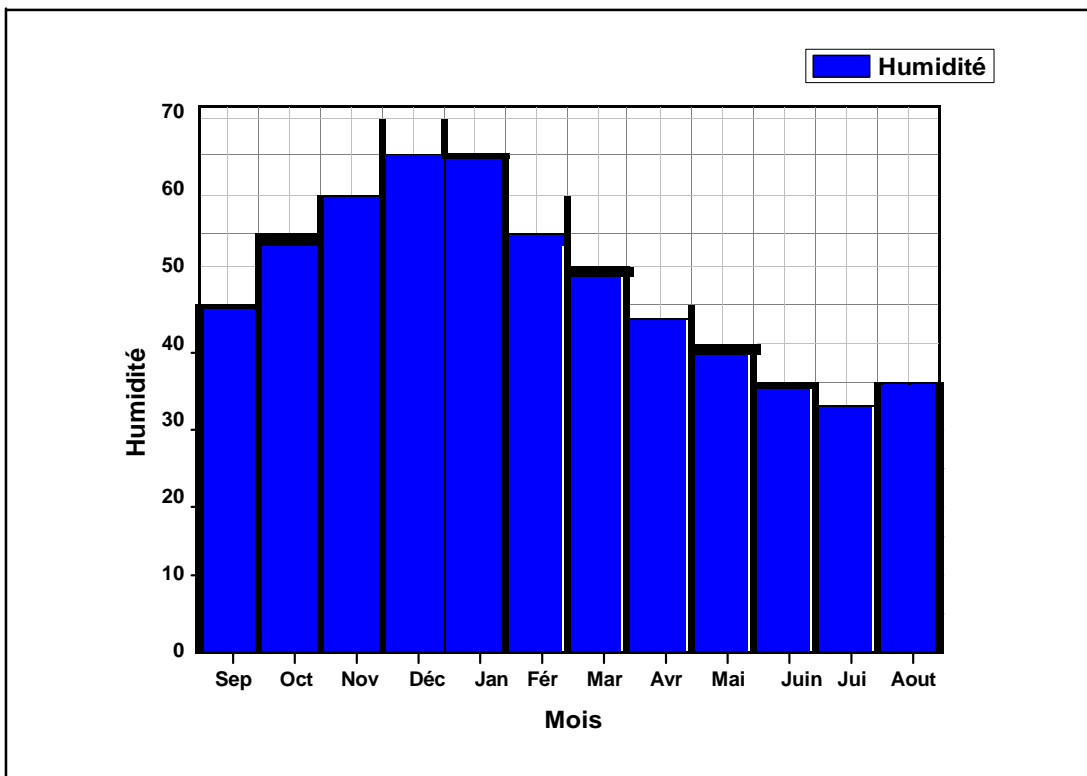
L'humidité représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère sous forme de vapeur ou bien le nombre de gramme de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air.

L'humidité est mesurée au moyen de l'hygromètre.

**Tableau (III-13) :** Humidité moyenne mensuelle en (%) de l'ONM (1984/2013).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
Humidité (%)	45.45	53.548	60.533	66.5	64.4	55.9	48.87	43.3	38.8	34.23	32	34.8

Les données représentées dans le (Tableau III-13), permet d'établir une représentation graphique de l'humidité sous forme de bâtons. (Figure III-9)



**Figure (III-9):** Distribution mensuelle interannuelle d'humidité (1984/2013)

La moyenne la plus forte pour la période d'étude est celle du mois de décembre (66,36%), et la plus faible est celle de juillet (de 31,76%.)

**III.6. Les vents:**

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps. La direction dominante est Nord-Est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud-Ouest.

Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables. Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection

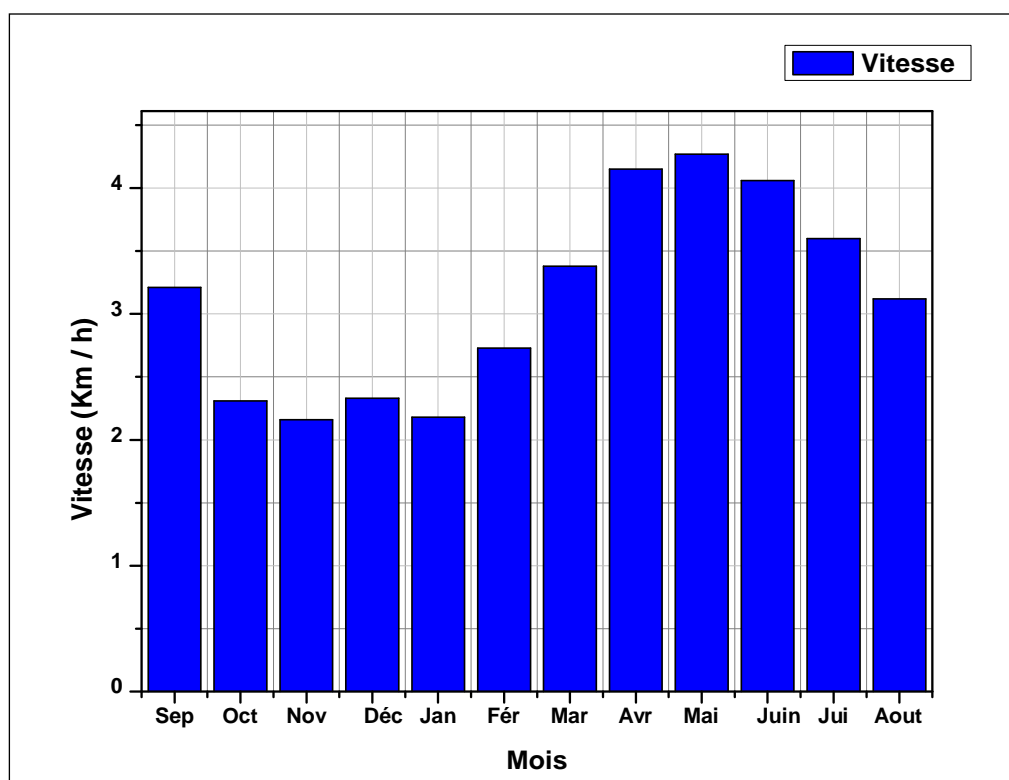


entre février et avril (durant le printemps). Mais heureusement, les véritables tempêtes restent très rares.

La vitesse moyenne des vents enregistrée pour la période de (1984-2013) est reportée sur le **tableau (III-14)**. On remarque qu'au printemps les vents sont les plus forts dominés par le vent d'Est communément appelé "El-Bahri". Ce dernier souffle principalement pendant la période qui s'étale d'Avril à Juillet. En été, il apporte de la fraîcheur, mais il est peu apprécié au printemps car il donne naissance au vent de sable et retarde la floraison des cultures locales tel que le tabac et le palmier. Ces vents de sable donnent au ciel une couleur jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 30 à 40 km/h.

**Tableau (III-14) :** Vitesses moyennes des vents mensuels en (m/s) de l'ONM (1984/2013).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
Vitesse (Km / h)	3.21	2.31	2.16	2.33	2.18	2.73	3.38	4.15	4.27	4.06	3.6	3.12



**Figure (III.10):** Variation mensuelle interannuelle de vitesse des vents (1984/2013)

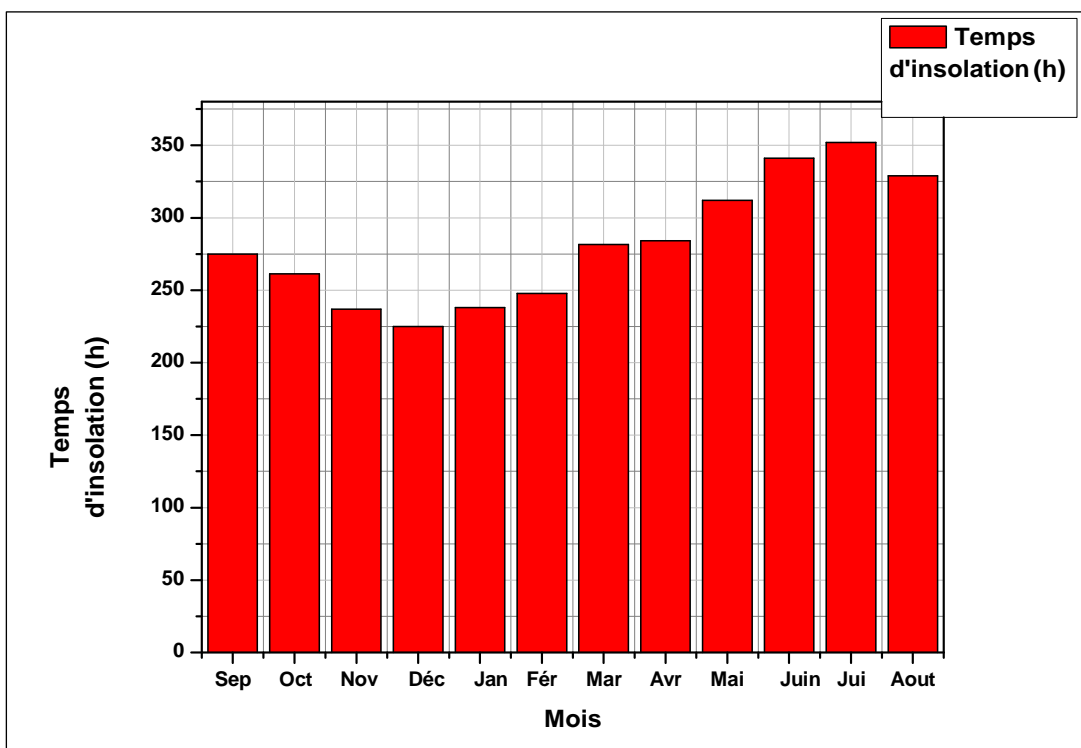
**III.7. L'insolation :**

À cause de la faible nébulosité, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui est en effet desséchant en augmentant la température.

En effet, La durée d'insolation est très importante au Sahara et varie avec d'une manière très importante d'une année à l'autre et même au cours de la même année.

**Tableau (III.15) :** Insolation moyenne mensuelle en (m/s) de l'ONM (1984/2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Moy
Temps d'insolation	275	261.2	237	225	237.9	247.9	281.5	284	312	341.2	352	329	281.98



**Figure (III.11):** Durée moyenne mensuelle interannuelle d'insolation (1984/2013)

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 352 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 225 heures.

Dans la région, le rayonnement solaire est excessif (le moyen annuel est de 3383,87 h/ans) ce qui traduit par un pouvoir évaporant élevé.

III.8. L'évaporation

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds, elle est de l'ordre de 2360.6 mm/an avec un maximum mensuel de 309 mm au mois de Juillet et un minimum de 73 mm en décembre.

Tableau (III-16) : l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) de l'ONM (1984/2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Moy
Eva (mm)	198	148	99	73	76	101	148	196	248	276	309	274	2360.6

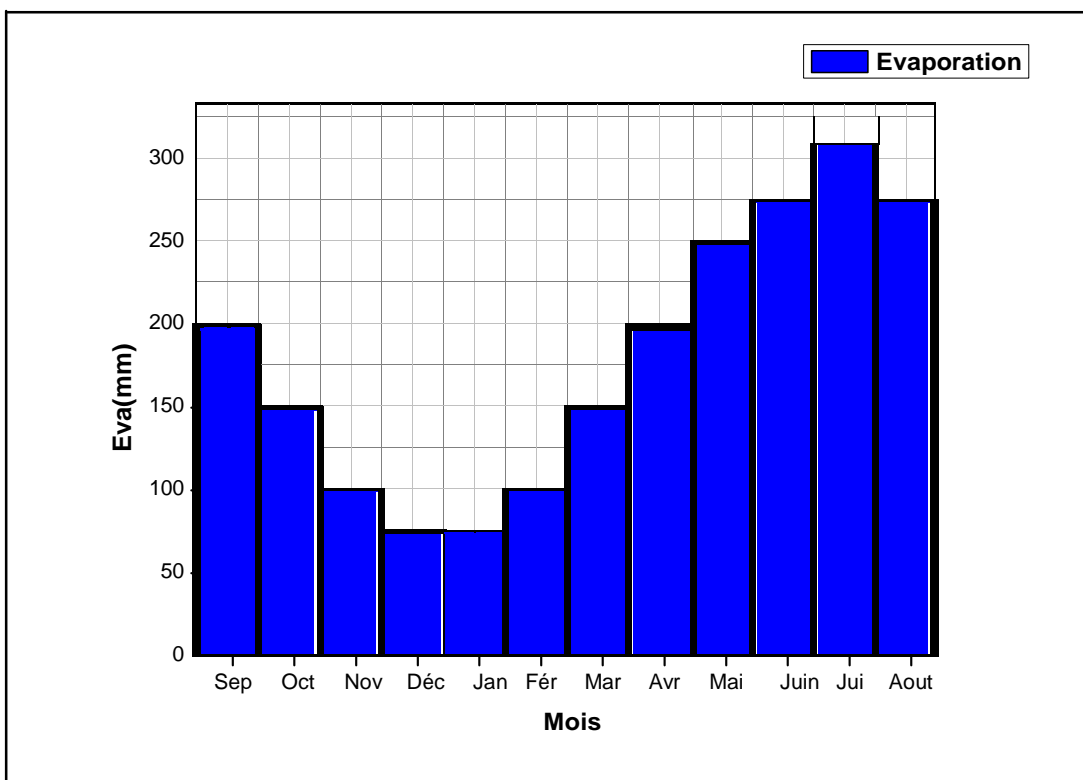


Figure (III-12): Variation de l'évaporation moyenne mensuelle (1984/2013)

**III.9. CALCUL DES PARAMETRES DE BILAN HYDRIQUE :****III.9.1. transpiration :**

C'est un élément principal de bilan hydrique, désigne toutes les pertes en eaux par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, elle regroupe l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

On utilise la méthode de C.W Thornthwaite pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et cette dernière avec la formule de Turc pour estimer l'évapotranspiration réelle (ETR) :

**a. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :**

La formule utilisée pour le calcul est :  $ETP = 16 * (10 T/I)^a * K$

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$$

Avec:

K : est un coefficient d'ajustement mensuel il est fonction du mois et de la latitude;

ETP : évapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau);

T : température moyenne mensuelle de l'air du mois considéré; (°C)

I : indice thermique annuel

$$a = \left( \frac{1.6}{100} \right)^{I+0.5}$$

Calcul de l'indice thermique mensuel  $i$  :  $i = \left[ \frac{T}{5} \right]^{1.514}$  D'où  $I = \sum i$

Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

**Tab.III.17:** Résultats de l'ETP issus de l'application de la formule de Thorntwaite (1984-2013)

Paramètre Mois	T (°C)	i	K	ETP (mm)
Septembre	34.91	18.96	1.03	198
Octobre	29.78	14.90	0.97	148
Novembre	22.92	10.02	0.88	99
Décembre	16.73	6.22	0.86	73
Janvier	16.3	5.98	0.88	76
Février	19.53	7.87	0.86	101
Mars	23.96	10.72	1.03	148
Avril	28.42	13.88	1.09	196
Mai	33.29	17.64	1.19	248
Juin	37.62	21.23	1.20	276
Juillet	38.59	22.06	1.22	309
Août	38.66	22.12	1.15	274
Total	340.71	171.6	-	2146

## b. l'évapotranspiration réelle (ETR):

### b.1. Methode de Thorntwaite:

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W Thorntwaite, où on distingue deux cas principaux :

1. Si  $P - ETP > 0$  ; c-a-d :  $P > ETP$ , dans ce cas  $ETR = ETP$ .
2. Si  $P - ETP < 0$  ; c-a-d :  $P < ETP$ , ce cas est subdivisé encore en deux cas :
  2. a- Si  $P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP$ .
  2. b- Si  $P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$ .

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau III.18 (bilan hydrique)

**b.2. Formule de Turc :**

C'est une méthode empirique qui se base sur de nombreuses données hydrologiques, cette expression est la suivante:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : L'évapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : paramètre exprimant le pouvoir évaporant de l'atmosphère, il a pour expression :

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$  d'où T est la température moyenne annuelle en °C.

**Tab.III.18: Résultats de l'application numérique de la formule de TURC (1984-2013).**

Paramètres	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
Station Guemar	73.32	28.25	2133.45	77.23

**III.9.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) :**

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle.
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétale.

On peut calculer la RFU d'après la formule de Hallaire :

$$RFU = \frac{1}{3} Da.He.P$$

RFU : réserve facilement utilisable en cm

Da : Densité apparente du sol.

He : Humidité équivalente du sol.

P : profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en mm.

RFU = 100 mm, C'est la valeur maximale de la réserve facilement utilisable.

**III.9.3. Ruissellement (R):**

D'après la formule de Tixeront-Berkaloff, on peut calculer le ruissellement à partir de la précipitation moyenne annuelle et l'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de Thornthwaite :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

$$R = \frac{(73,32)^3}{3(2146)^2}$$

Donc  $R = 0,028 \text{ mm}$

On constate que la lame d'eau ruisselée sur l'aire d'étude est négligeable grâce à la nature du terrain caractérisé par une forte perméabilité à savoir les formations sableuses.

#### **III.9.4. ssement du bilan :**

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thorntwaite pour la station de Guemar a montré que l'ETP atteint le maximum au mois de juillet (309 mm) et son minimum au mois de décembre (73 mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une valeur de 4.31 mm et le reste de l'année est épuisée.

Le bilan hydrique pour une période de 30 ans (1984-2013) de la vallée de Oued Souf est déficitaire ( $DA = 2075.11 \text{ mm}$ ) alors que l'excédent est nul.

Tab.III.19: Bilan hydrique de la station de Guemar d'après Thorntwaite (1984-2013)

Mois	Sep	Oct	No	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
T (°C)	34.91	29.78	22. 92	16.7 3	16.3	19.53	23.9 6	28.4 2	33.29	37.62	38.59	38.66	28.25
I	18.96	14.90	10. 02	6.22	5.98	7.87	10.7 2	13.8 8	17.64	21.23	22.06	22.12	171.6
K	1.03	0.97	0.8	0.86	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	.....
ETP (mm)	198	148	99	73	76	101	148	196	248	276	309	274	2146
P (mm)	5.74	7.39	8.1 0	7.2	13.0 3	6.32	7.65	6.86	5.07	1.5	0.26	2.12	71.24
P-ETP	- 192.26	- 140.6 1	- 90. 9	- 65.8	- 62.9 7	- 94.68	- 140. 35	- 189. 14	- 242.9 3	-274.5	-308.74	-271.88	-2075.11
RFU (mm)	00	00	00	00	4.31	00	00	00	00	00	00	00	4.31
ETR (mm)	5.74	7.39	8.1	7.2	13.0 3	6.32	7.65	6.86	5.07	1.5	0.26	2.12	71.24
DA (mm)	192.26	333.2 2	424 .12	489. 92	552. 89	647.5 7	787. 92	977. 06	1219. 99	14.94.49	1803.2 3	2075.1 1	2075.11
EX	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

**Formules de vérification :**

1.  $\sum P = \sum ETR + \sum EX$

On a

$\sum ETR + \sum EX = 71.24 + 00 =$

$71.24 = \sum P$

2.  $\sum ETP = \sum ETR + \sum DA$

On a

$\sum ETR + \sum DA = 71.24 + 2075.1$

$= 2146.35 = \sum ETP$



**III.10. CONCLUSION:**

Le climat de la région d'étude est en certains points analogue à celui du reste du Sahara : très chaud et sec l'été qui devient assez froid en hiver (de 2 à 8 °C) voir gelées la nuit, en effet, les différences de températures entre le jour et la nuit sont très élevées (jusqu'à 30°C en été). Ceci s'explique par le fait que le sable se refroidit plus vite que les autres roches tel que l'argile, c'est pour cette raison qu'il fait plus froid la nuit aux villages installés et/ou entourés de sables (Sidi Aoun ou Z'Goum) qu'à la cité des 400 logements à El-Oued centre.

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région est caractérisée par un climat hyper aride de type saharien, présenté par une irrégularité annuelle et interannuelle paru par deux périodes différentes :

L'une est sèche et chaude se prolonge entre le mois de mars et novembre et l'autre est humide et froide s'étale entre novembre et février.

Le mois le plus humide est décembre caractérisé par une forte humidité et d'un faible rayonnement solaire et le mois le plus sec est juillet caractérisé par une faible humidité, La brillance de soleil est très élevée ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

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

- Le bilan est déficitaire, l'excédent est nulle et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle présente uniquement une valeur de 4.31 mm pendant le mois de janvier.
- La précipitation est de l'ordre de 73.97 mm qui contribue complètement à l'évapotranspiration réelle.

---

---

*Chapitre IV:*  
Hydrogéologie

---

---

**IV.1. INTRODUCTION:**

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

**IV.2. RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES:**

La wilaya d'El Oued présente des potentialités en eau assez importantes, représentées par trois types d'aquifères, l'un libre correspondant à la nappe phréatique, les deux autres sont captifs, correspondant aux nappes multicouche du complexe terminal et la nappe du continental intercalaire.

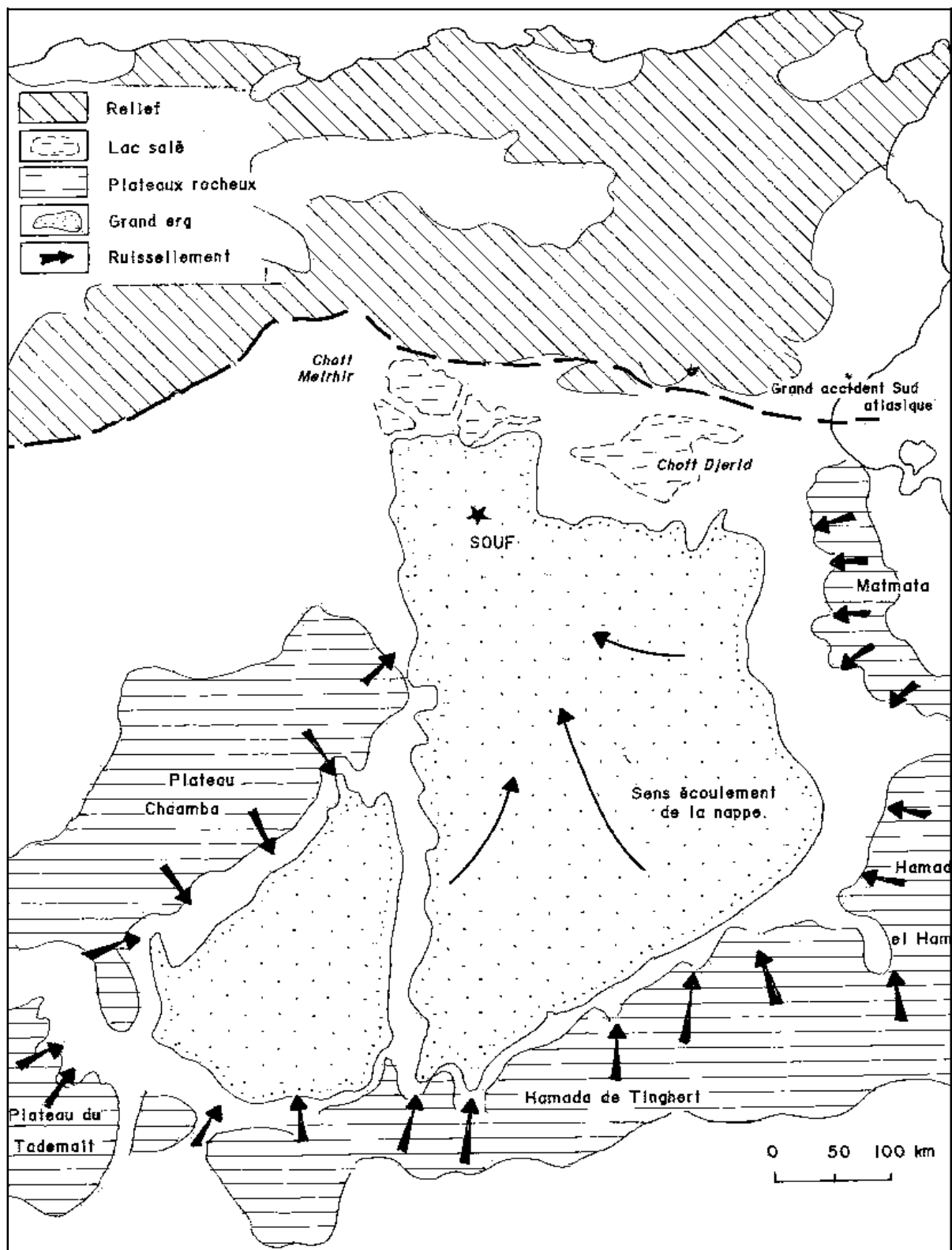
**IV.2.1. La Nappe phréatique:**

La nappe phréatique partout dans le Souf, repose sur le plancher argilogypseux du Pontien supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau de la surface du sol, ne dépasse pas une profondeur moyenne de plus de 40 m de sable non aquifère (Voisin A.R, 2004).

L'alimentation de la nappe phréatique dans la zone d'étude est assurée par l'infiltration des eaux de forages profonds (CT et CI) et par les rares et faibles précipitations typiquement sahariennes.

Les études passées montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe libre suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est-à-dire du Sud vers le Nord (Fig.IV.1).

L'aquifère quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 m. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 m de profondeur à l'extrémité Nord-est de la région d'étude. Cette nappe a engendré un problème néfaste pour l'environnement dans certaines zones de la vallée.



**Figure (IV-1):** Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe  
(Cote Marc, 2006)

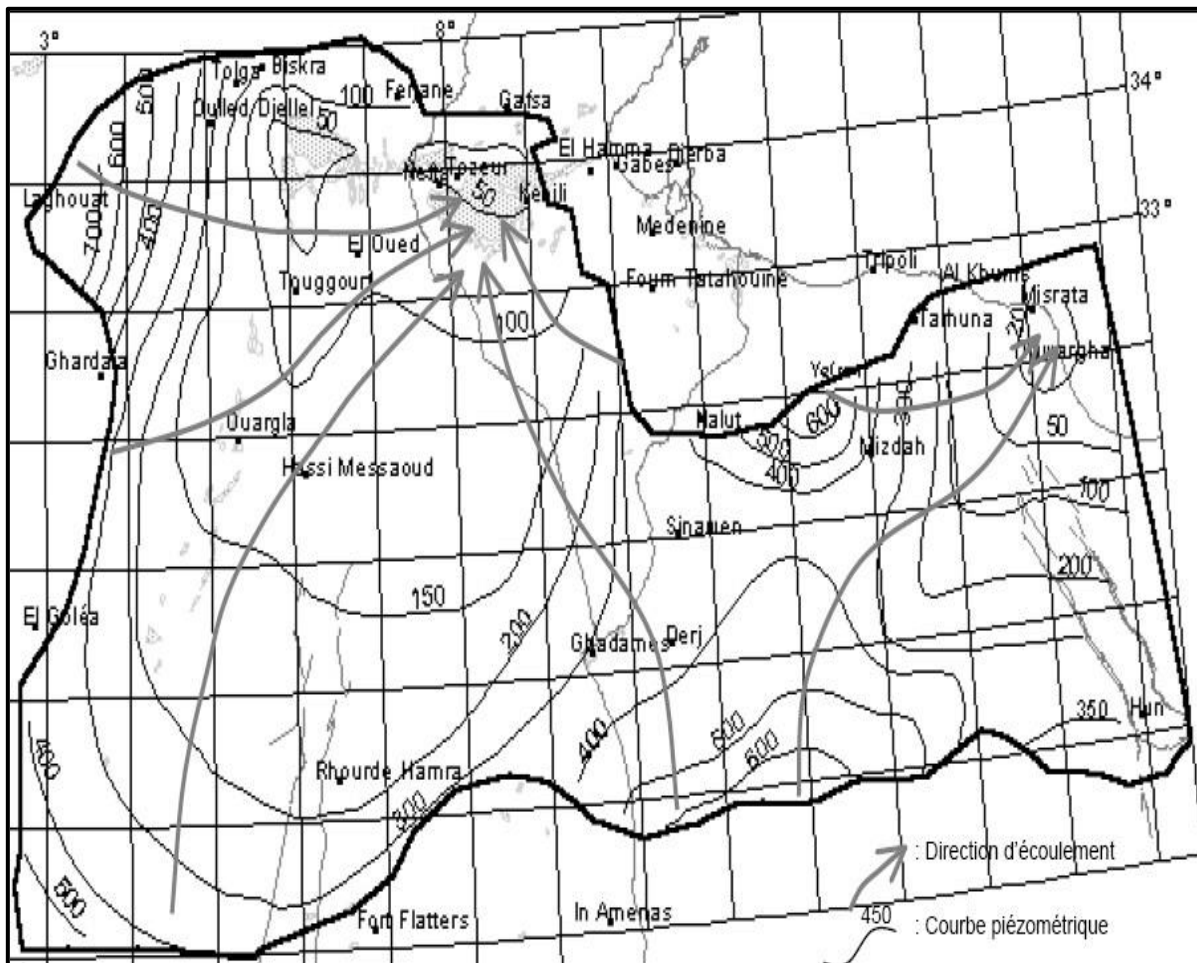
### IV.2.2. Complexe Terminal C.T:

Le terme « Continental terminal » désignait les formations continentales, argileuses et sableuses du Miopliocène. Mais d'après BEL et DEMARGNE (1966) : « La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Miopliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, celle du Continental Terminal, par opposition. Cette du Continental Intercalaire ».

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du «Complexe Terminal», appellation publiée pour la première fois par BEL et Cuhe (1969) : ce terme de « nappe du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Miopliocène sont évidentes sur l'ensemble du Bassin, à l'exception de la région des Chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire. Cependant, ces niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Miopliocène sur la bordure du bassin.

Les terrains constitutifs du Complexe Terminal s'étendent sur une superficie de 350 000 km<sup>2</sup> d'environ (Fig.IV.2) en Algérie et en Tunisie couvrant ainsi essentiellement la majeure partie du bassin oriental et l'ensemble du Sahara septentrional, depuis la Saoura à l'Ouest jusqu'au Graben de Hun (et même jusqu'au Golfe de Syrte) à l'Est, depuis l'accident Sud-Atlantique au Nord jusqu'au flanc Nord des plateaux de Tademaït et du Tinhert en Algérie, de Gargaf (Nord du Fezzan) en Libye. Son extension longitudinale est donc au moins égale à celle du Continental Intercalaire (1600 km), tandis que sa hauteur dans le sens Nord-Sud est plus réduite (600 km) (BRL-BNEDER, 1992).

L'écoulement dans le bassin Occidental se produit dans des zones d'affleurement du piedmont vers le Sud (limite Sud du Grand Erg et zone d'affleurement du Continental Intercalaire). A l'extrême Ouest, une partie de cet écoulement est interceptée vers le sillon de la Saoura. Et à partir de la dorsale du M'Zab, l'ensemble de l'écoulement converge vers la zone des Chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental).



**Figure (IV-2):** Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométriques et les sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006)

Dans le Sud Tunisien et en Libye cette direction d'écoulement vers le Nord-Ouest puis vers le Nord se poursuit, avec un fort gradient en Libye par suite de la réduction de transmissivité du réservoir (BRL-BNEDER, 1992).

D'après Baba SY (2005), les nappes du Complexe Terminal sont essentiellement alimentées sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires (Sénonien, Eocène inférieur, Turonien), ou à travers des nappes d'inféro-flux des oueds : bordure Sud- Atlasique, M'Zab, Jebel Tebaga, Dahar, Jebel Nefousa. Dans les deux grands ergs (Occidental et Oriental), par infiltration de pluies exceptionnelles à travers des formations dunaires perméables (BRL-BNEDER, 1992). Et à l'Est du Djérid, la partie nord de la "chaîne" des Chotts est considérée comme source de recharge potentielle.

Les zones d'exutoire sont principalement centrées sur les Chotts Algéro- Tunisiens et sur le Golfe de Syrte, où les nappes sont artésiennes sous couverture semi-perméable peu épaisse

(Fig.IV.4). Les sources constituent également un autre exutoire. La plupart d'entre elles ont aujourd'hui disparu à cause de la baisse du niveau des nappes, et les seules qui subsistent, se localisent dans les chotts.

Le premier forage profond artésien de prospection fut exécuté en 1953 à Sif El Menadi (90 Km N.O d'El Oued). Foré à 435 m de profondeur, il a débité quelques 4 m<sup>3</sup> par minute et a permis la première plantation de palmiers irrigués (Najah A, 1970).

Dans la région du Souf, l'eau jaillit depuis le printemps 1956 d'un forage exécuté à El-Oued, à près de 300 m de profondeur; le débit est assez faible (3,3 litres/seconde) et la pression au sol est assez réduite (+2,4 mètres) (Voisin A.R, 2004).

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En effet, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables.

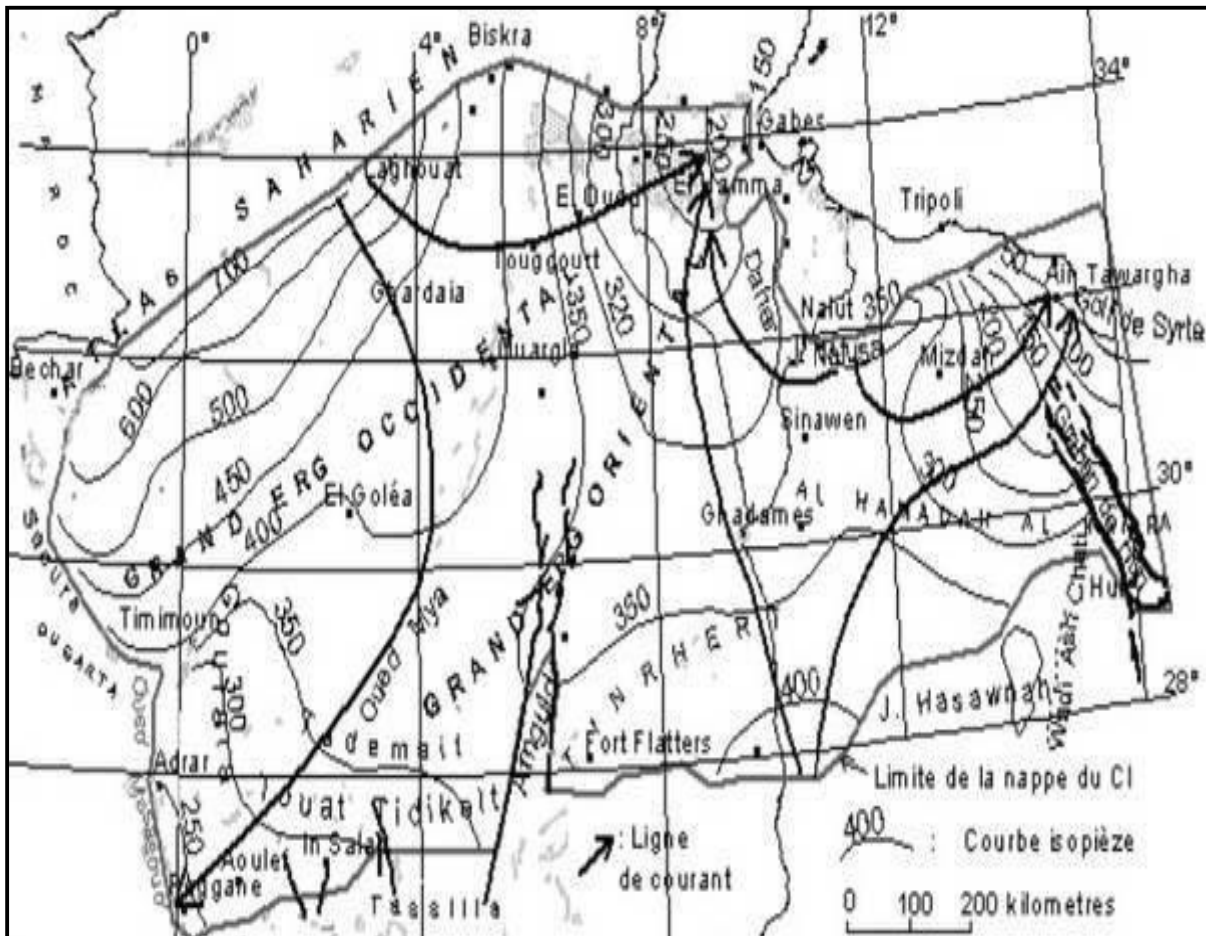
Ces trois corps sont représentés par les calcaires et les dolomies du Sénonien et de l'Eocène inférieur, par les sables, les grès et les graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène.

#### **IV.2.3. Nappe du Continental Intercalaire C.I :**

On appelle du " Continental Intercalaire " englobe au sens large l'ensemble des dépôts sédimentaires d'un long épisode continental intercalé entre les deux cycles marins du Paléozoïque et du Crétacé supérieur. A cette définition stratigraphique, qui présente l'inconvénient d'englober des épisodes lagunaires, voire franchement marins, nous préférons emprunter la définition hydrogéologique plus classique d'un continental intercalaire au sens strict réduit aux seuls dépôts clastiques (argilo-gréseux) véritablement continentaux constituant un réservoir plus ou moins homogène rempli d'eau douce. Ces dépôts, d'âge Crétacé inférieur, recouvrent en discordance des terrains d'âges variés allant du toit du Primaire à l'Ouest (le mur du Continental Intercalaire correspondant ici avec la discordance hercynienne) au toit du Néocène à l'Est. Le toit du réservoir correspond à la base du Cénomaniens argileux à l'Ouest, de l'Albien argileux à l'Est.

Le Continental Intercalaire constitue le réservoir profond du Sahara septentrional. Il s'étend sur plus de 600 000 km<sup>2</sup> sur les seuls territoires algériens et tunisiens, depuis l'accident Sud-atlasique au Nord jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tihert au Sud. Limité à l'Ouest selon un axe Béchar - Reggane, sa prolongation vers l'Est en Libye sous la Hamada al Hamra jusqu'au Graben de Hon couvre encore quelques 250 000 km<sup>2</sup> supplémentaires (BRL-BNEDER, 1992).





**Figure (IV-3):** Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006)

Baba SY et al., (2006) met en évidence les zones d'alimentation qui sont:

a) piémont sud atlasique au Nord-Ouest, b) Tinrhert au Sud, c) Dahar à l'Est, d) Jebel Nafusa au Nord-est, e) Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire (Fig. IV.3).

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie. Il consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et grâce à un écoulement vers la nappe de la Geffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine. Les bordures occidentales et méridionales du Tademaït constituent également une zone d'exutoire naturelle importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt. Par ailleurs, des transferts verticaux à partir du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal existent peut-être à la faveur des fractures qui jalonnent la dorsale d'Amguid - El Biod. Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental (Fig.IV.3), le



toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs, L'exploitation du Continental Intercalaire s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles des exutoires artificiels, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tademaït dès le Xe siècle (UNESCO, 1972a ; BRL-BNEDER, 1992).

La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. Elle est exploitée par trois forages artésiens.

La commune d'El-Oued exploite cet aquifère par deux forages artésiens pour l'AEP d'un débit cumulé de 340 l/s et une température avoisinant les 70 °C.

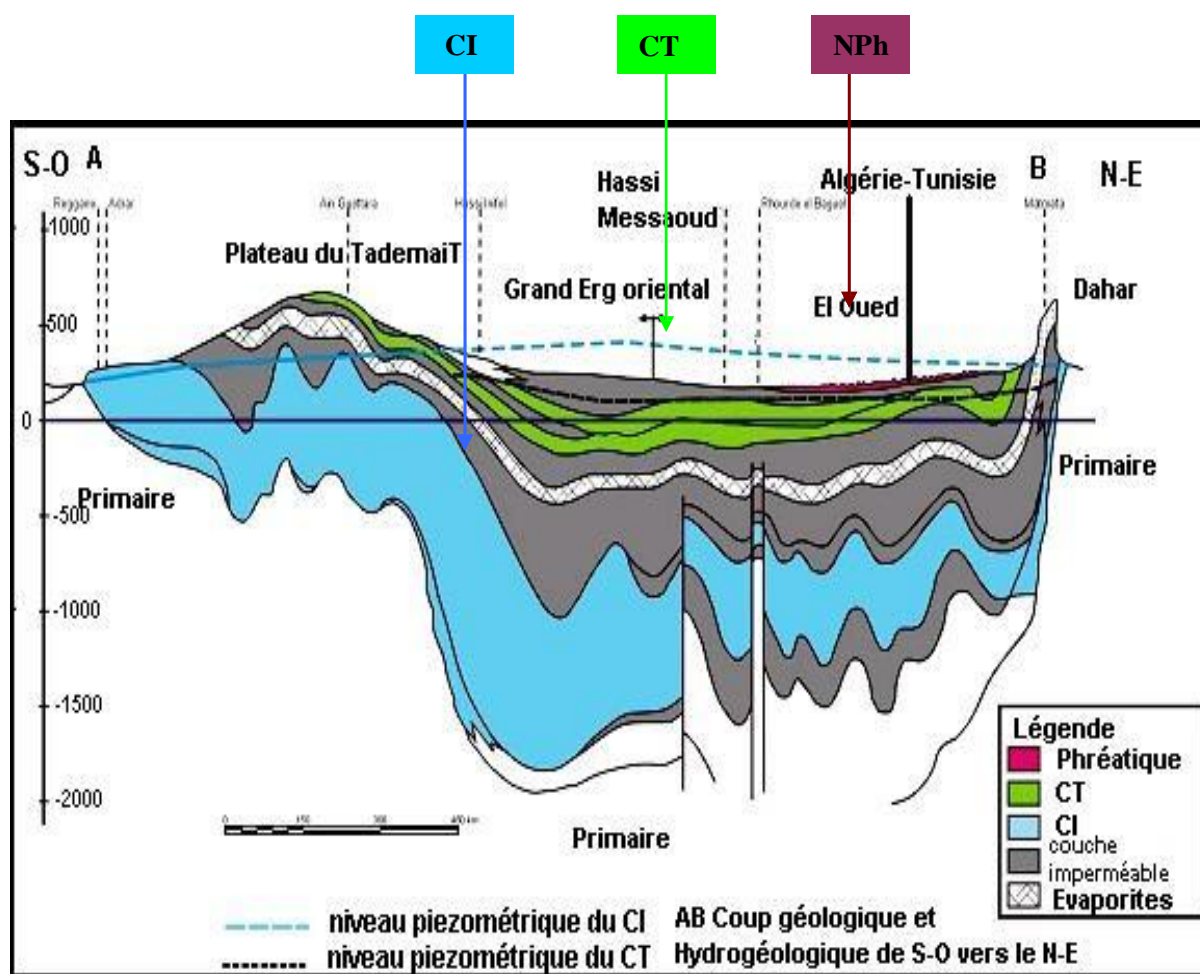


Figure (IV-4): Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972)

Tableau (IV-1) : Étendue et volume des ressources en eaux souterraines

La nappe souterraine	La superficiel (l'étendue)	Le volume	Le temps de renouvellement
La nappe phréatique	250 000 km <sup>2</sup>	/	6 000 ans
La nappe du complexe terminal	350 000 km <sup>2</sup>	/	/
La nappe du continental intercalaire	600 000 km <sup>2</sup>	60 000 .10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	70 000 ans

Source : ANRH 2005

Tableau (IV-2) : Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued.

Nature hydrogéologique	Nature lithologique	Etage		Ere	
Nappe phréatique	Sables	Quaternaire			
Niveau imperméable	Argiles				
1 <sup>ere</sup> nappe des sables	Complexe Terminal	Pliocène		Tertiaire	
Semi-perméable		Argiles gypseuses			
2 <sup>eme</sup> nappe des sables		Sables grossiers	Pontien		Miocène
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen		Eocène
Nappe des calcaires (perméables)		Calcaire fissuré	Inférieur		
Semi-perméable	Evaporites, argiles		Sénonien lagunaire	Crétacé	Secondaire
Niveau imperméable	Argiles, marne	Cénomaniens			
Nappe de Continental Intercalaire	Sables et Grés	Albien			

Source : DHW 2005

**IV.3. . ESTIMATION DES RESERVES:**

Les études hydrogéologiques montrent que le Sahara renferme d'énormes réserves d'eaux souterraines, constituée par des grès de porosité 25%, le bassin considéré ayant 600 000 Km<sup>2</sup> (en Algérie), l'étude UNESCO (1972) évalue approximativement la réserve d'eau moyenne de l'ensemble des aquifères du CI et du CT à 60000 ×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>.

MARGAT (1992), sans détail précis sur la méthode de calcul, fait état de 40000 ×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> de réserves aquifères du CI. Il évalue la réserve du CT (couvrant 350 000 Km<sup>2</sup>) à 20 000 ×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>.

Nous tentons, ici, d'évaluer la ressource dans les aquifères du Sahara septentrional au dessous de la région du Souf. Les réserves totales contenues dans le réservoir représentent le volume total des formations aquifères, auquel est appliquée la porosité efficace (OSS 2002).

L'estimation des réserves, des aquifères de la nappe phréatique, du CT et du CI est rendue possible après la connaissance de l'épaisseur moyen de chaque aquifère

Le volume utile ou la réserve est calculée par la formule :

$$V = e \times s \times n_e \dots\dots\dots (IV-1).$$

Où  $e$  : épaisseur moyen (m)

$s$  : la superficie (m<sup>2</sup>)

$n_e$  : la porosité efficace

**IV.3.1. mation des épaisseurs mouillées :**

Les études faites par l'ANRH concernant les caractéristiques des aquifères du Sahara septentrional sont présentées par les valeurs suivantes (Tableau IV-3) :

**Tableau (IV-3) : Épaisseur moyen des différents aquifères**

Aquifère	Nappe phréatique	CT	CI
<b>Épaisseur mouillée</b>	20 à 25 m	50 à 60 m	350 à 380 m
<b>Superficie (S) m<sup>2</sup></b>	11738 km <sup>2</sup> =11738000000m <sup>2</sup>		
<b>porosité efficace (ne)</b>	12.49×10 <sup>-2</sup>	5×10 <sup>-2</sup>	5×10 <sup>-2</sup>
<b>Réserves en m<sup>3</sup></b>	65.97×10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	200×10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	226×10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>

**ANRH : 2005**

**IV.4. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE LA NAPPE (CT) :**

La détermination des caractéristiques hydrauliques de la nappe du complexe terminal se fait par des pompages d'essais.

Cette méthode consiste à représenter expérimentalement les graphiques, les courbes et les droites des fonctions mathématiques régissant l'écoulement des eaux souterraines vers les ouvrages de captage.

L'étude de ces graphiques permet :

- ✓ D'analyser l'évolution du cône de dépression de la surface piézométrique ;
- ✓ De préciser les principales caractéristiques hydrauliques de la nappe ;
- ✓ De voir en temps réel l'effet de l'exploitation de l'aquifère ;

**IV.4.1. Expérimentations des pompages d'essais:**

❖ **Essais de puits** : Cet essai consiste en l'exécution de pompage par palier de débit de courte durée avec la mesure du niveau d'eau dans le puits. Cet essai permet de déterminer les caractéristiques du complexe : aquifère / ouvrage de captage. La manière la plus rentable sans très solliciter la nappe, est de n'extraire que la réserve régulatrice afin d'éviter une surexploitation minière de la ressource. Cela n'est possible que si le débit d'exploitation est inférieur au débit critique en respectant le nombre d'heure de pompage par jour.

❖ **Essais de nappe** : Cet essai est réalisé en un seul palier de débit de longue durée, avec la mesure des niveaux d'eau dans le forage (rabattement) et dans des piézomètres si c'est possible. Ce type d'essai est utilisé dans le but de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (Transmissivité, Coefficient d'emmagasinement...). Il faut noter que l'interprétation n'est possible que si le type d'aquifère est identifié.

**Interprétation d'essais des pompages :**

L'interprétation des pompages d'essais repose sur des méthodes graphiques d'approximation.

Ces méthodes sont toutes basées sur les hypothèses suivantes :

- ✓ Le débit est supposé constant pendant toute la durée de pompage ;
- ✓ La surface de la nappe est supposée horizontale ;
- ✓ le forage capture la nappe sur la totalité de son épaisseur ;
- ✓ L'écoulement est supposé laminaire ;
- ✓ L'aquifère est illimité ;

**IV.4.2. Détermination des paramètres hydrodynamiques :****IV.4.2.1. La transmissivité (T) :**

La transmissivité est le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. Elle représente la capacité de l'aquifère à transmettre l'eau à travers une unité de surface. Elle peut donc nous situer sur la perméabilité du milieu. Selon que cette valeur est élevée ou faible l'aquifère peut être jugé bon ou mauvais. Pour sa détermination plusieurs méthodes empiriques ont été établies (Théis, Cooper-Jacob, Banton-Bangoy).

**a) - L'approximation logarithmique (méthode de Cooper- Jacob) :**

La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative l'échelle des coordonnées n'étant pas homogène, la pente est déterminée par l'accroissement des rabattements(ou des profondeurs des niveaux d'eau).au cours d'un module logarithmique.

$$T = \frac{0,138Q}{C} \dots\dots\dots (IV-2).$$

T: La transmissivité en (m<sup>2</sup>/s).

Q: Le débit (longue durée) en (m<sup>3</sup>/s).

C : La pente moyenne (‰).

**b) - La transmissivité (méthode de Theis) :**

L'équation de la remontée, après arrêt du pompage est la suivante:

$$R = \frac{Q}{4\pi T} \times \text{Log}\left(\frac{t+t'}{t'}\right) \Rightarrow R = \frac{Q}{4\pi S} \times \text{Log}\left(1 + \frac{t}{t'}\right) \dots\dots\dots (IV-3).$$

T: La transmissivité en (m<sup>2</sup>/s).

Q: Le débit (longue durée) en (m<sup>3</sup>/s).

R: Le rabattement (moyen) en tout point, à partir de l'arrêt du pompage en (m).

t : Le temps écoulé depuis le début du pompage en (s).

t': Le temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (temps de remontée) en (s).

E: L'épaisseur de l'aquifère (m).

Dans le cadre de notre étude, les méthodes utilisées sont la méthode de Cooper- Jacob.

**IV.4.2.2. Coefficient de perméabilité (K):**

La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique" (G CASTANY). Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy.

Le coefficient de perméabilité d'un sol est un coefficient important dépendant de :

- ✓ la granulométrie du sol.
- ✓ la nature du sol.
- ✓ les caractéristiques physiques du liquide, viscosité (eau).
- ✓ degré de consolidation du sol

#### IV.4.2.3. Coefficient d'emménagement (S) :

La storativité  $S$  d'une aquifère, ou coefficient d'emménagement, est le volume d'eau libérée ou stockée par l'aquifère par unité d'aire horizontale de l'aquifère par unité de variation du gradient hydraulique. La storativité dépend en général des propriétés élastiques de l'eau et du milieu.

Le coefficient d'emménagement est obtenu par calcul numérique dans le deuxième terme de l'expression de Jacob. Ou, plus simplement, avec  $t_0$ , lorsqu'il peut être déterminé, par l'expression (IV.4):

$$S = \frac{2.25 \times T \times t_0}{r^2} \dots \dots \dots (IV.4)$$

Où  $T$  est la transmissivité ( $m^2/s$ ),  $t_0$  est le temps d'intersection entre la droite de descente (ou de remontée) et le niveau piézométrique initial (s), et  $x$  est la distance entre l'ouvrage et le piézomètre concerné (m).

#### IV.4.3. Essais par pompage et interprétation des résultats:

Les essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés sur 02 sites répartis dans la zone d'étude de la vallée d'Oued- Souf, à Magrane F58 (Hammadine) , Bayadha F31(Soualah).

L'essai par paliers est composé de trois paliers de 6 heures chacun à débit constant, séparés par un intervalle d'au moins 12 heures. L'essai de longue durée a consisté en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée. Son interprétation a permis de calculer la transmissivité ( $T$ ), et le coefficient de perméabilité ( $K$ ), et la Coefficient d'emménagement ( $S$ ).



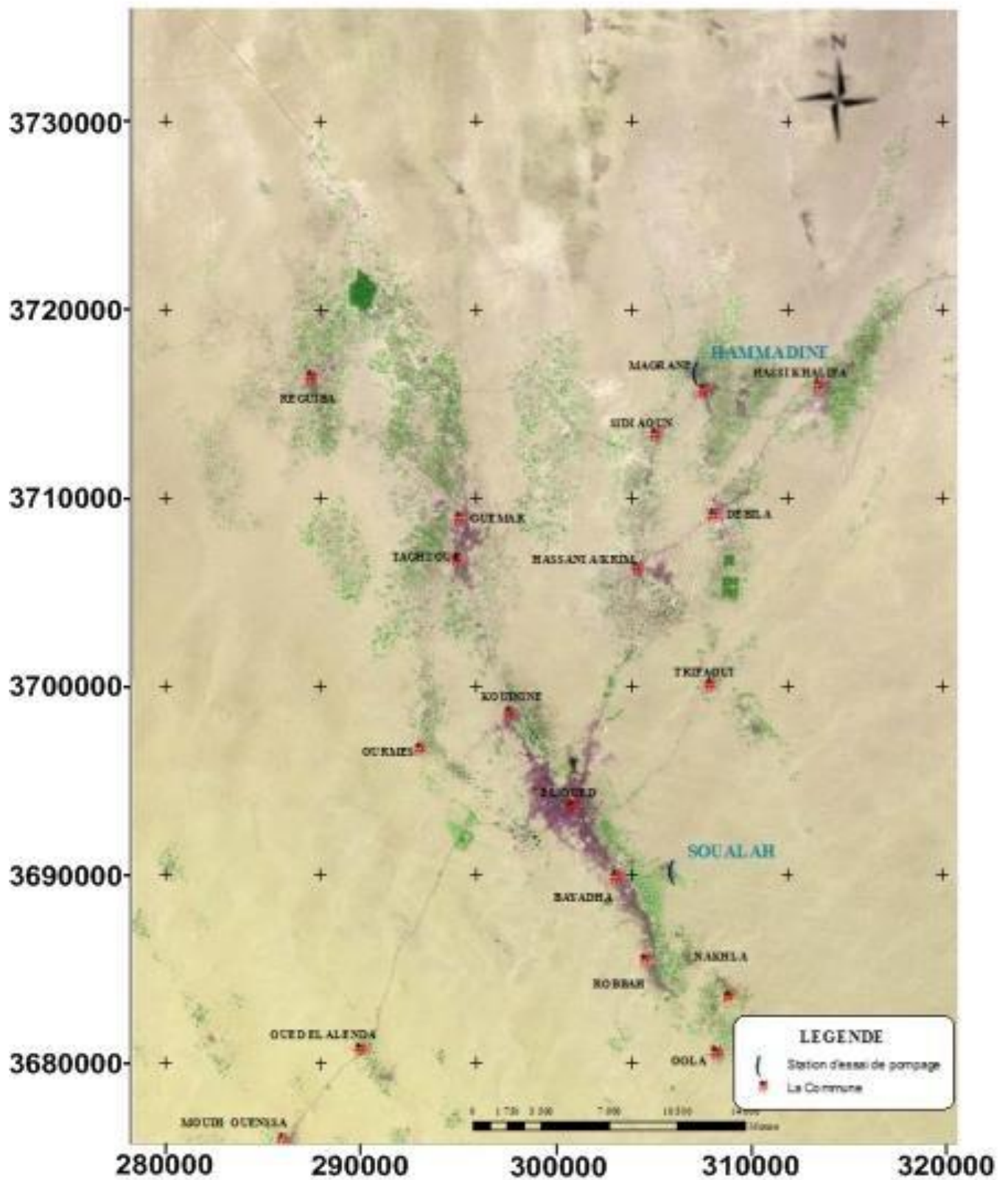


Figure (IV-5): Carte de situation des stations d'essais de pompage

**IV.4.3.1. Interprétation des données d'essai du pompage de longue durée :**

**a)- Forage F 58 (Hammadine) commune de Magrane :**

Ce forage est implanté dans la partie Nord-West de la ville de Magrane wilaya d'EL-Oued au coordonnées Lambert (X=881.700 m, Y=327.900 m) de 386 m de profondeur.

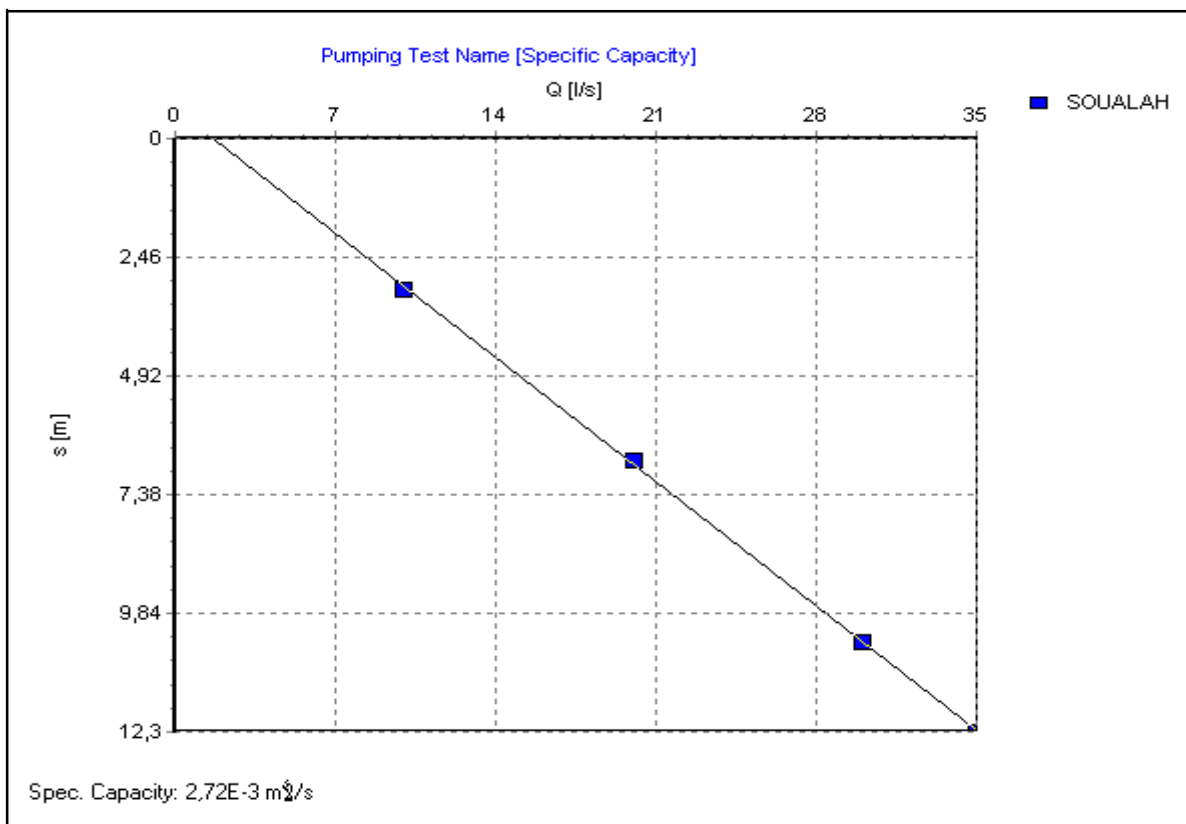
L'essai qui a été réalisé a duré 72 heures pour la descente et avec un débit maximal de 37 l/s.

**Tableau (VI-4) :** Résultats de pompage d'essai par paliers du forage F58 (Hammadine)

Palier	Niveau dynamique (m)	Rabattement $\Delta$ (m)	Débit (l/s)
1	30.70	9.70	21
2	34.70	13.70	29
3	37.12	16.12	33
4	40.60	19.6	37

❖ **Débits spécifiques:**

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits- rabattement à un temps de 480 s (8h). Le rabattement à 21 l/s est de 9.70m, celui à 29 l/s est de 13.70m, celui à 33 l/s est de 16.12 m et celui à 37 l/s (essai longue durée) est de 19.60m, Voir courbe (Spécifique Capacity) après utilisation d'un logiciel appelé (AQUIFER TEST).



**Figure (IV-6):** Courbe débit spécifique / Rabattement à F 31(Soualah)



**b)- Forage F31 (Soualah) commune de Bayadha :**

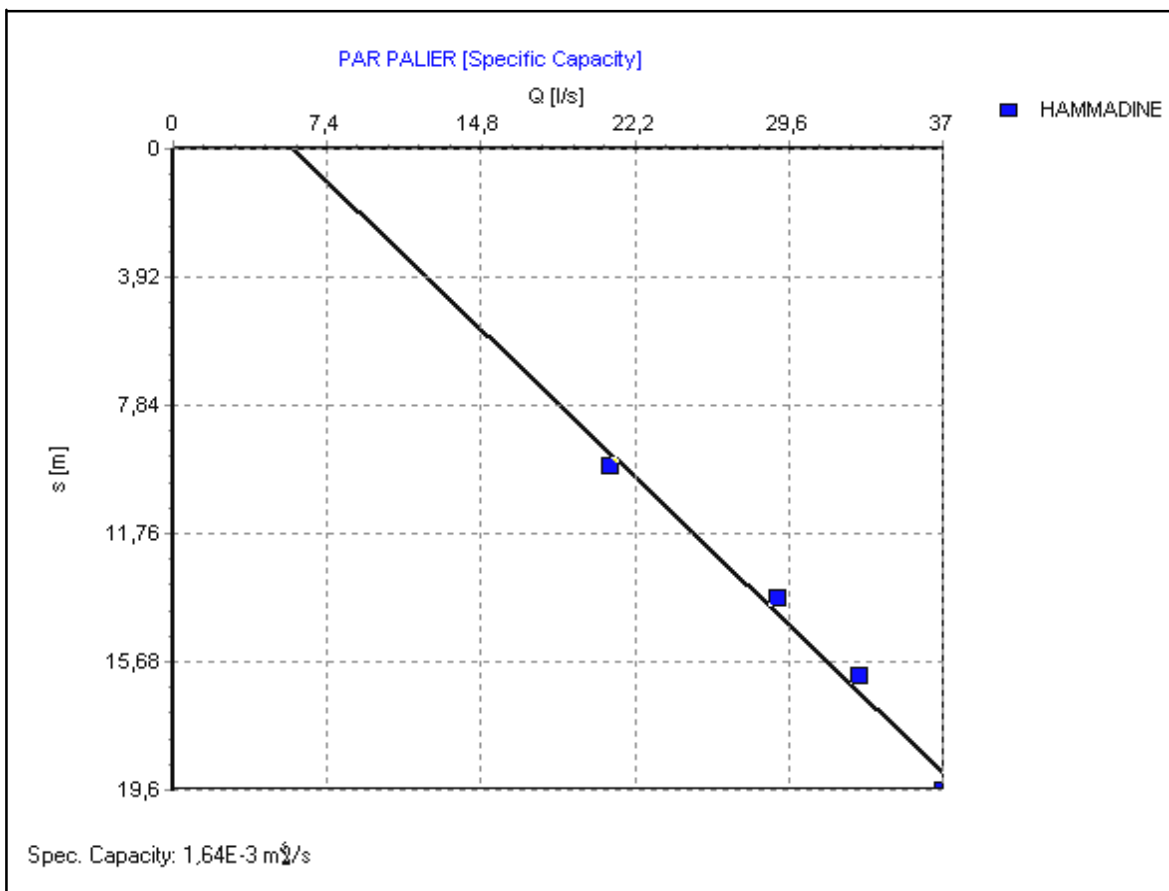
Ce forage est implanté dans la partie Nord-West de la ville de Bayadha wilaya d’EL-Oued au coordonnées Lambert (X=881.700 m, Y=327.900 m) de 386 m de profondeur (Annexe I). L’essai qui a été réalisé a duré 72 heures pour la descente et avec un débit maximal de 35 l/s.

**Tableau (IV-5) :** Résultats de pompage d’essai par paliers du forage F31 (Soualah)

Palier	Niveau dynamique (m)	Rabattement Δ(m)	Débit (l/s)
1	33.12	3.12	10
2	36.68	6.68	20
3	40.42	10.42	30
4	42.30	12.30	35

❖ **Débits spécifiques:**

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits- rabattement à un temps de 360 s (6h). Le rabattement à 10 l/s est de 3.12m, celui à 20 l/s est de 6.68m, celui à 30 l/s est de 10.42m et celui à 35 l/s (essai longue durée) est de 12.30m voir courbe (Spécifique Capacity) après utilisation d’un logiciel, appelé (AQUIFER TEST).



**Figure (IV-7):** Courbe débit spécifique / Rabattement à F 58 (Hammadine)

**Tableau (IV-6) :** Résultats des Débits spécifiques (en m<sup>2</sup>/s) pour les 02 sites

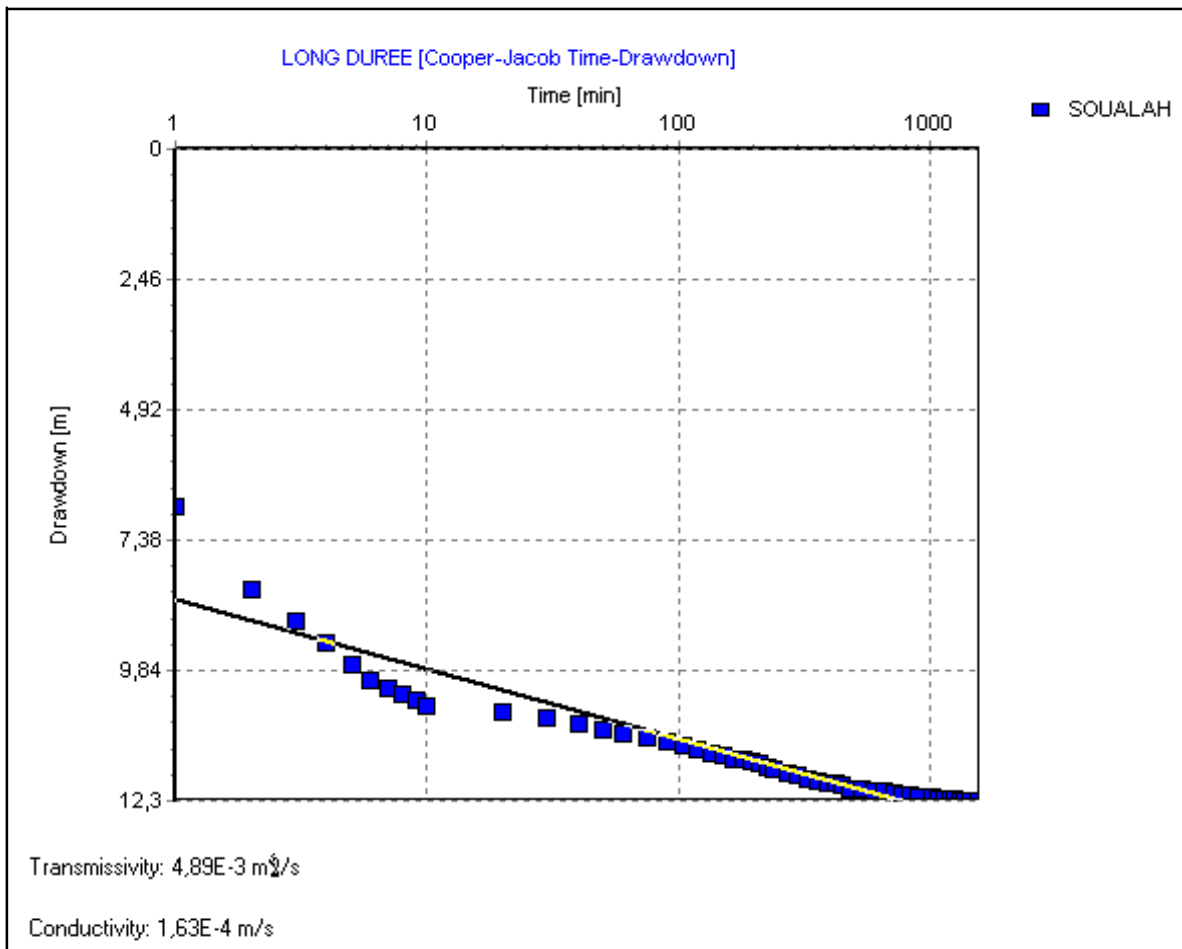
Essai	Débit Spécifique (m <sup>2</sup> /s)
Magrane	1.64 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s
Bayadha	2.72 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s

Le débit spécifique est moyen à chaque station d’essai. D’une station à l’autre

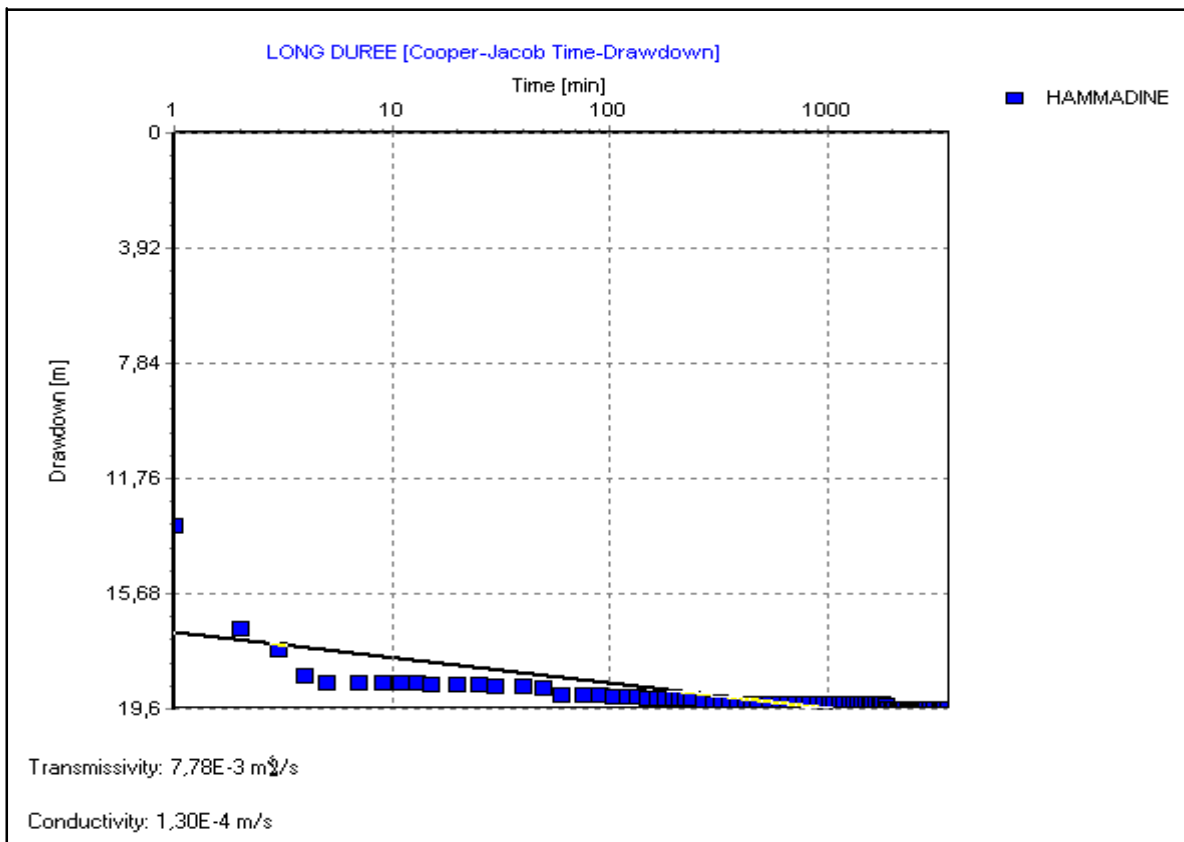
On rapportant les valeurs des débits spécifiques en fonction du rabattement on obtient la figure ci –dessous :

❖ **La transmissivité et Perméabilité:**

Voir le courbe (Cooper-jacob Time-Drawdown) après utilisation d’un logiciel, appelé (AQUIFER TEST)



**Figure (IV-8):** Essai de pompage longue durée à F31(Soualah)



**Figure (IV-9):** Essai de pompage longue durée à F 58 (Hammadine)

**Tableau (IV-7):** Résultats de la transmissivité (en m<sup>2</sup>/s) pour les 02 sites

Essai	T (Cooper-Jacob) (m <sup>2</sup> /s)
Magrane	7.78 x 10 <sup>-3</sup>
Bayadha	4.89 x 10 <sup>-3</sup>
<b>T moyenne</b>	<b>6.34 x 10<sup>-3</sup></b>

Les transmissivités sont homogènes à chaque station d’essai. D’une station à l’autre, les écarts sont peu importants, de l’ordre de 1 à 3. Elles sont remarquablement faibles. La transmissivité moyenne est de 6.34 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s.

**Tableau (IV-8) :** Résultats de la perméabilité (en m/s) pour les 02 sites:

Essai	K (Cooper – Jacob) m/s
Magrane	$1.30 \times 10^{-4}$
Bayadha	$1.63 \times 10^{-4}$
<b>K moyenne</b>	<b><math>1.47 \times 10^{-4}</math></b>

Les perméabilités sont homogènes à chaque station d'essai. D'une station à l'autre, la perméabilité moyenne est de  $1.47 \times 10^{-4}$  m/s. Ces valeurs correspondent à des sols de bonne perméabilité.

❖ **Porosités efficaces  $n_e$  :**

La porosité efficace a été considérée comme équivalente au coefficient d'emménagement (S) pour la nappe du complexe terminal. Elle a été déterminée par la méthode de Moench. La porosité efficace moyenne est de  $16.33 \times 10^{-2}$ . Ces valeurs sont usuelles pour des sables moyens.

**Tableau (IV-9) :** Résultats de La porosité efficace

Essai	$n_e$ (Moench)
Magrane	$17.05 \times 10^{-2}$
Bayadha	$15.60 \times 10^{-2}$
<b><math>n_e</math> moyenne</b>	<b><math>16.33 \times 10^{-2}</math></b>

#### IV.5. . ETUDE PIEZOMETRIQUE:

Notre zone d'étude présente un certain nombre de forages qui sont dispersés dans la vallée d'Oued-Souf et qui sont destinés à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et aux autres usages domestiques.

Afin de réaliser cette étude, nous avons sélectionné 52 points d'eau exploitant la nappe du complexe terminal pour le piézométrie effectuée en décembre 2014 (Tab.IV.10).

La mesure de niveau des eaux souterraines, est effectuée à l'aide d'une sonde (Fig.IV.10) dont le capteur est réactif à la conductivité de l'eau. Lorsque la sonde atteint le niveau de l'interface air/eau, un contact électrique est établie entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal sonore et lumineux.

D'après les mesures piézométriques faites en mars 2014 par DHW d'EL-Oued on obtient les résultats suivants :

Tableau (IV-10) : Niveau piézométrique de la nappe du complexe terminal (Mars 2014)

N° Forage	Altitude (m)	Profondeur du niveau statique	Niveau piézométrique (m)	N° Forage	Altitude (m)	Profondeur du niveau statique (m)	Niveau piézométrique (m)
<b>F02</b>	92	42	50	<b>F36</b>	85	36	49,3
<b>F04</b>	87	30	57	<b>F39</b>	94	50	44
<b>F06</b>	79.	42	36,7	<b>F41</b>	78	36	42,2
<b>F07</b>	68	38	30,5	<b>F44</b>	72	32	40
<b>F08</b>	66	35	31	<b>F45</b>	75	34	40,7
<b>F09</b>	71	32	39	<b>F47</b>	77	33	44,2
<b>F10</b>	92	34	58,2	<b>F48</b>	56	34	22
<b>F11</b>	76	42	34	<b>F50</b>	65	36	29
<b>F12</b>	91	32	59,25	<b>F53</b>	50	38	12,4
<b>F13</b>	80	36	45	<b>F55</b>	51	34	17,2
<b>F15</b>	83	38	45,5	<b>F58</b>	61	45	16
<b>F16</b>	89	37	52	<b>F60</b>	61	48	13
<b>F17</b>	100	31	69	<b>F61</b>	53	40	13
<b>F18</b>	80	31	49	<b>F64</b>	44	33	11,4
<b>F20</b>	90	38	52	<b>F66</b>	30	14	16,45
<b>F21</b>	93	42	51,5	<b>F67</b>	42	29	13
<b>F22</b>	93	36	56,83	<b>F70</b>	52	28	23,8
<b>F23</b>	93	40	53,3	<b>F71</b>	77	54	24
<b>F26</b>	91	33	58,3	<b>F77</b>	61	49	12
<b>F27</b>	80	31	48,65	<b>F81</b>	69	35	34,2
<b>F28</b>	90	38	51,56	<b>F85</b>	60	31	28,6
<b>F30</b>	77	34	43,5	<b>F87</b>	54	24	30,04
<b>F33</b>	77	32	45	<b>F90</b>	48	33	14,55
<b>F34</b>	80	36	44	<b>F93</b>	69	11	58,4
<b>F95</b>	66	24	42,35	<b>F105</b>	52	28	24
<b>F96</b>	60	30	30,35	<b>F102</b>	57	20	37

Source: DHW : 2014

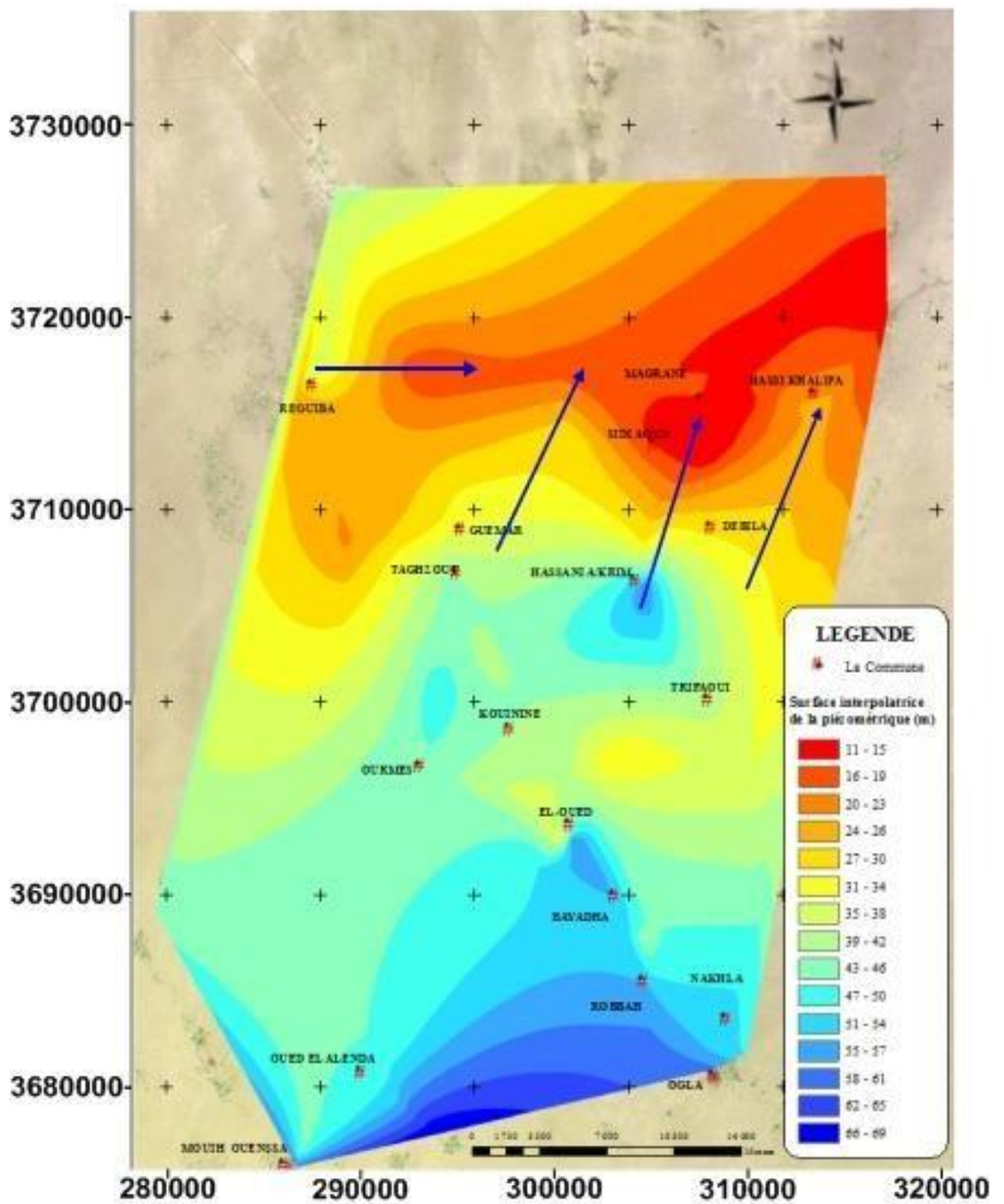
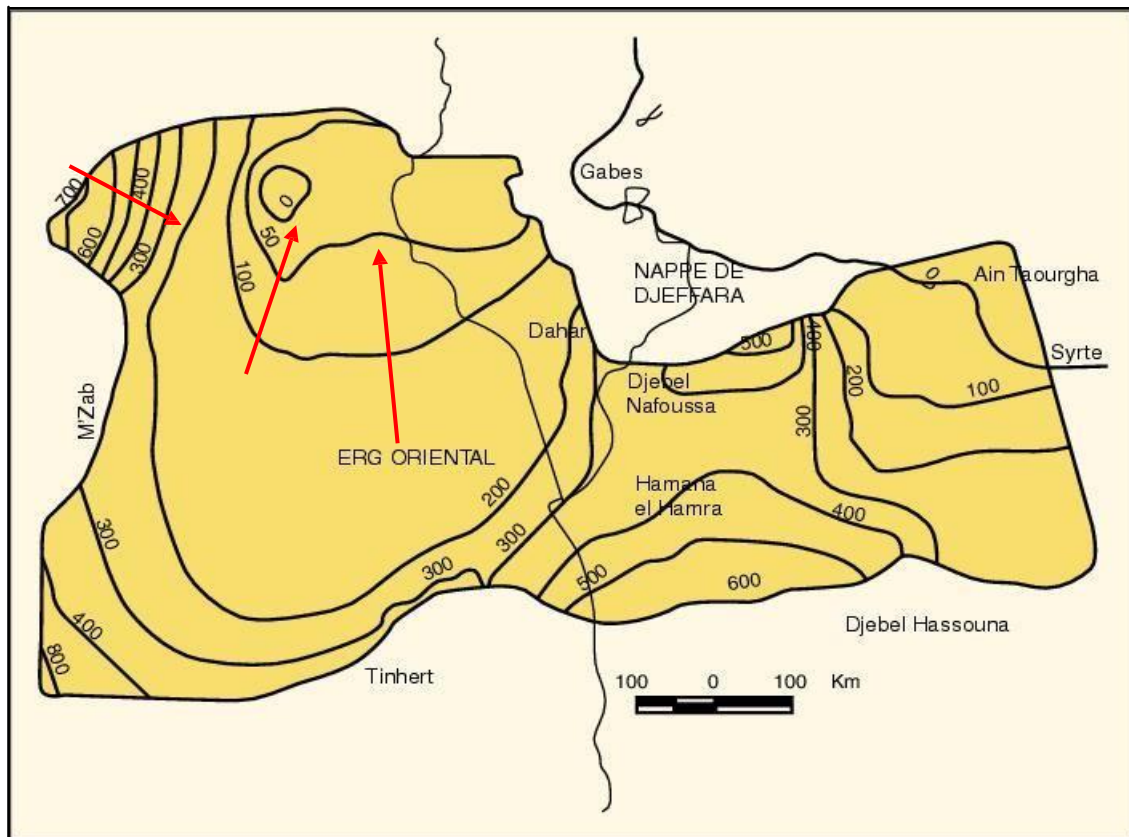


Figure (IV-10): Carte piézométrique de la nappe du complexe terminal (Mars 2014)

❖ **Interprétation:**

Les hauts niveaux piézométriques de la nappe est située à Oglia 59.10 m et Mouih Ouensa qui marqué une valeur de 58.10 m, une zone basse située au Nord-Est à Hassi khalifa où le niveau piézométrique est compris entre 21 et 25m, on remarque aussi que le niveau piézométrique dans la commune d'El-Oued varie entre 43 et 46 m, On constate que la surface piézométrique n'est pas régulière.



**Figure (IV.11):** Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Complexe Terminal (OSS, 2003).

La comparaison entre la carte piézométrique de la zone d'étude et la carte piézométrique de référence de l'aquifère nous permet de noter que les niveaux piézométriques sont identiques.

#### IV.5.1. Sens de l'écoulement:

L'étude hydrodynamique et les cartes piézométriques nous a permis de constater que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté suivant une direction générale est Sud-Ouest vers le Nord-Est dans la nappe du complexe terminal de la vallée d'Oued-Souf.

**IV.5.2. Gradient Hydraulique:**

Le gradient hydraulique est la différence de niveau piézométrique entre deux points de la surface piézométrique, par unité de longueur, mesurée le long d'une ligne de courant. Il est assimilable à la pente de la surface piézométrique.

L'écartement des courbes piézométriques est fonction du gradient hydraulique, qui est d'autant plus fort que les courbes sont plus serrées ( $I = 4.1.10^{-3}$ ), c'est notamment le cas à la partie centrale de la région. Il a été évalué à ( $I = 7.4.10^{-4}$ ) dans la partie N.E de la plaine où les courbes isopièzes présentent un espacement un peu large.

Ce gradient est directement lié à la perméabilité du milieu, à la vitesse d'écoulement et au débit.

**IV.5.3. . Vitesse d'écoulement:**

La vitesse d'écoulement des eaux demeure variable d'une région à une autre. La légère variation constatée au niveau des équipotentiels

$$V = K \times I \dots\dots\dots (IV-5).$$

Pour calculer la vitesse d'écoulement, on doit tirer la valeur de gradient hydraulique à partir la carte piézométrique et multiplier cette valeur à la perméabilité.

**IV.5.4. Rayon d'action:**

Les études faites par la DHW en 2002 montrent que le rayon d'action dans les différentes aquifères égales :

- Nappe phréatique : Ra=300m.
- Nappe de CT : Ra compris entre 500 et 600m.



## IV.5.6. Rabattements (2000- 2050) au CT:

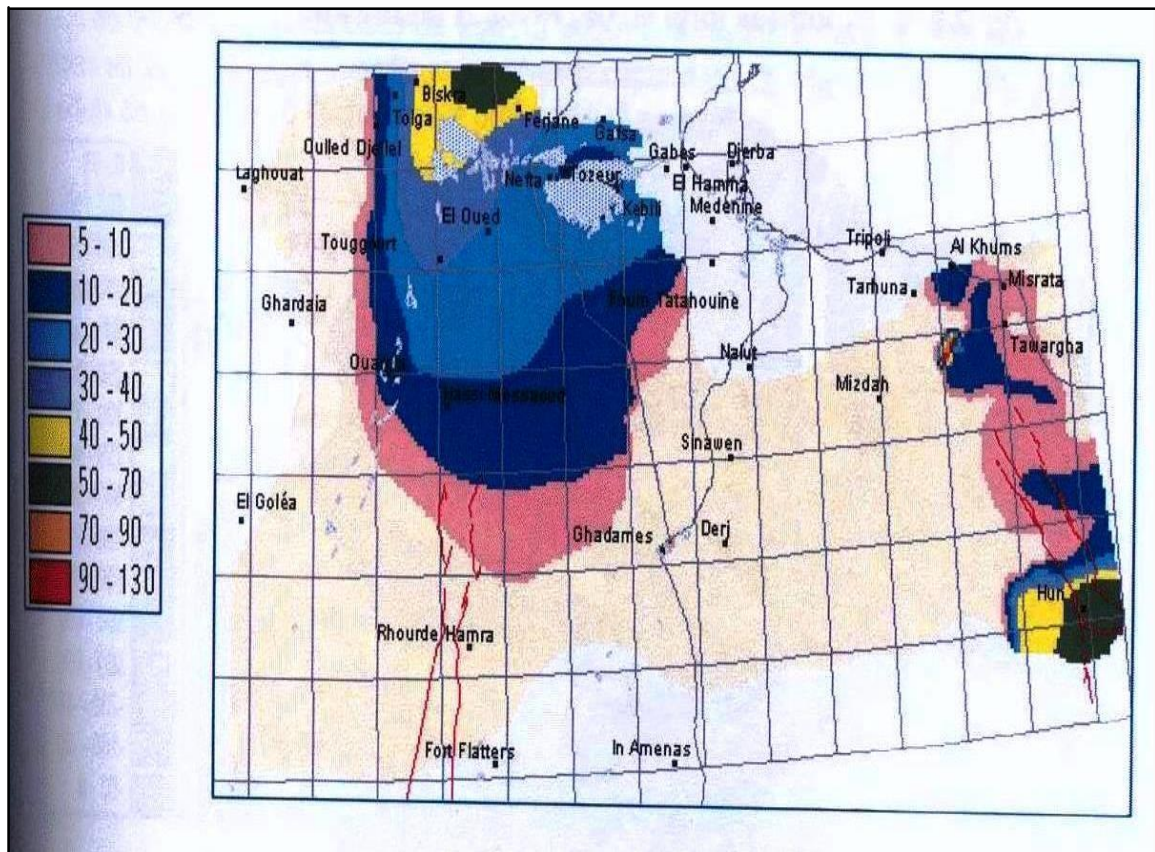


Figure (IV-12) : Rabattements 2000 – 2050 au CT (en m)

(D'après simulation SASS 2003)

❖ **Interprétation**

On remarque qu'il y a un rabattement de CT dans la région d'étude ce rabattement compris entre 30 à 40 m, cette nappe connaissait le phénomène d'artésianisme pendant les années quatre-vingt.

Ces baisses ont pour conséquence que de nouvelles ressources devront être substituées à celles actuellement exploitées et que pour le moins le niveau des pompes devra être abaissé dans les forages, lorsque cela sera possible, sinon de nouveaux forages plus profonds devront être réalisés. Les hauteurs de refoulement et les coûts de production vont augmenter autant pour l'AEP que pour l'irrigation.

**IV.6. ASPECT QUANTITATIF DES FORAGES DE LA NAPPE DU CT :**

La nappe du complexe terminal (CT) dans la vallée d'Oued- Souf est très sollicitée notamment pour l'AEP, d'après l'inventaire 2014 on a montré que les 106 forages sont utilisés pour l'alimentation en eau potable et 24 forages sont utilisés pour l'irrigation. (Fig.IV.15).

**IV.6.1. Forages à l'arrêt:**

Lors de cette opération d'inventaire, il a été constaté que 09 forages sont à l'arrêt pour les raisons suivantes : manque d'équipements, problème d'alimentation en électricité, manque d'entretien dû à l'ensablement, etc. L'exploitation de ces derniers nécessite seulement une prise en charge et un entretien régulier.

**IV.6.2. Forages abandonnés:**

Il a été remarqué durant cet inventaire que 19 forages captant la nappe du CT, se trouvent dans un état de dégradation très avancée, leur bouchage est indispensable afin d'éviter les fuites pouvant contaminer les autres nappes par la salinité.

Tableau (IV-11) : Nombre des Forages à l'arrêt et abandonnés pour les 18 communes

Commune	Forages à l'arrêt	Forages abandonnés
El Oued	03	/
Kouinine	02	03
Réguiba	/	03
Guemar	/	03
Taghzout	/	/
Ourmés	/	02
Débila	/	01
Hassani Abdelk	/	01
Hassi Khalifa	02	04
Trifaoui	/	/
Magrane	/	/
Sidi Aoun	/	01
Robbah	/	/
Nakhla	/	/
El Oglia	02	/
Bayadha	/	/
Oued el Alenda	/	/
Mih Ouansa	/	01
<b>TOTAUX</b>	<b>09</b>	<b>19</b>

Source : DHW : 2014

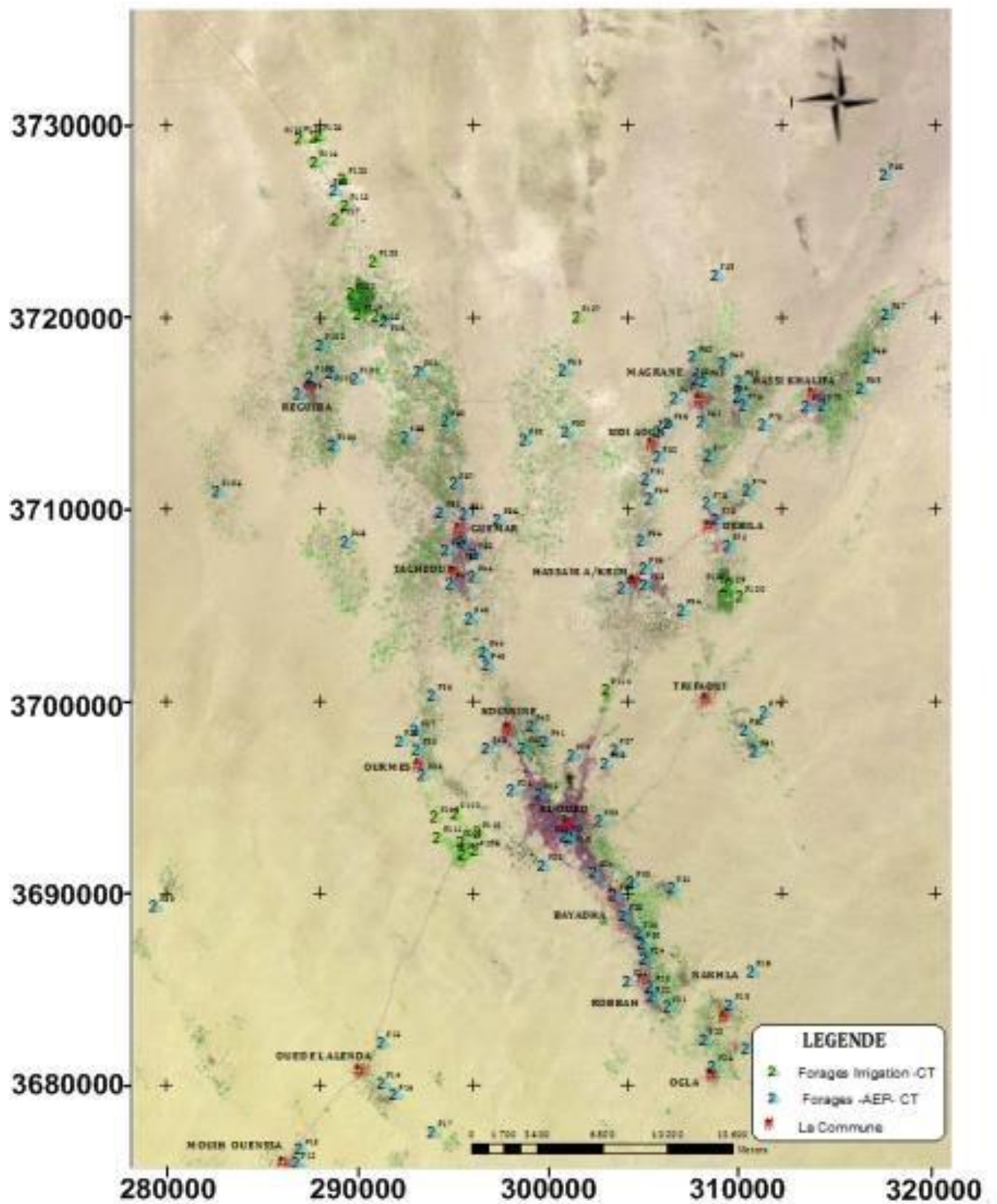


Figure (IV-13): Carte d'inventaire de Forage du CT sur la vallée d'Oued-Souf (2014)

**IV.6.3. Volumes soutirés :**

Afin d'évaluer le volume d'eau total soutiré des nappes par le biais des forages en exploitation, il a été jugé utile de scinder le territoire de la wilaya d'El-Oued selon la densité des forages dans les zones, la répartition des forages par usage avec les volumes fréquentiels sont indiqués dans le tableau suivant :

**Tableau (IV-12) : Répartition des forages par usage avec les volumes respectifs**

Commune	AEP		IRRIGATION		Volumes soutires (Hm <sup>3</sup> /an)
	CT	V(Hm <sup>3</sup> /an)	CT	V (Hm <sup>3</sup> /an)	
El Oued	11	9,8109	08	4,3046	14,1155
Kouinine	06	0,9760	/	/	0,976
Réguiba	09	0,7942	08	5,4412	6,2354
Guemar	11	1,5413	04	2,6411	4,1824
Taghzout	04	3,2387	/	/	3,2387
Ourmés	06	0,8010	/	/	0,801
Débila	07	3,2119	03	1,8790	5,0909
Hassani Abdelkrim	05	18,1127	/	/	18,1127
Hassi Khalifa	07	2,4798	/	/	2,4798
Trifaoui	03	1,4601	/	/	1,4601
Magrane	09	1,7947	/	/	1,7947
Sidi Aoun	07	4,5305	01	0,0657	4,5962
Robbah	04	1,7647	/	/	1,7647
Nakhla	03	0,9672	/	/	0,9672
El Ogla	02	3,6218	/	/	3,6218
Bayadha	06	52,9363	/	/	52,9363
Oued el Alenda	04	2,0969	/	/	2,0969
Mih Ouansa	02	3,7099	/	/	3,7099
<b>TOTAUX</b>	<b>106</b>	<b>113,8486</b>	<b>24</b>	<b>14,3317</b>	<b>128,1803</b>

Source : DHW : 2014

Les résultats de cet inventaire ont permis de déterminer les volumes soutirés de la nappe CT à travers la vallée d'Oued-Souf qui sont de  $4.06 \text{ m}^3/\text{s}$  soit 128 millions de  $\text{m}^3/\text{an}$ . Ces volumes sont destinés pour AEP et l'irrigation.

La vallée d'Oued-Souf consomme 90 % du volume d'eau mobilisé de la nappe du CT, qui est destiné pour l'AEP et qui consomme 10 % est destiné pour l'irrigation

### III.7. CONCLUSION :

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal CT et nappe de continentale intercalaire CI).

L'étude hydrodynamique et les cartes piézométriques nous a permis de constater que le sens d'écoulement des eaux de la nappe du complexe terminal est orienté suivant une direction générale Sud-Ouest vers le Nord-Est de la région d'étude.

La piézométrie de CT selon l'inventaire (2014) dans la vallée d'Oued-Souf varie entre 11 m à Magrane et 69 m dans la région de Oued Alenda.

L'interprétation des essais de pompage par paliers et à longue durée qui a été effectué au niveau des 02 stations nous a permis de constater que :

- ✓ Le débit soutiré oscille entre 10 l/s à 55.5 l/s
- ✓ La Transmissivité moyenne de CT est  $5.26 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- ✓ La perméabilité de CT dans la vallée d'Oued-Souf est comprise entre  $10^{-3}$  et  $10^{-4} \text{ m/s}$  pour la nappe la plus exploitée du mio-pliocène ce qui nous donne une valeur moyenne de coefficient de perméabilité  $K = 2.55 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ .
- ✓ La porosité efficace estimée à 16.33 %
- ✓ La profondeur moyenne de cette nappe du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ, avec une réserve estimée à  $200 \times 10^9 \text{ m}^3$ .



---

---

*Chapitre V:*  
Hydrochimie

---

---

**V.1. INTRODUCTION:**

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, des rejets industriels et l'activité agricole. En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux souterraines de l'aquifère de Miopliocène de la vallée d'Oued Souf, son évolution dans le temps et dans l'espace.

Un plan de travail a été adopté pour atteindre ces buts, il consiste au début à faire un suivi chimique des différents points d'eau appartenant à la zone d'étude, pendant la période de (Décembre 2014).



## V.2. METHODES ET STRATEGIE DE TRAVAIL :

### V.2.1. Prélèvements :

Ont été prélevés les échantillons en quatrième semestre (décembre 2014) à l'aide de l'ADE (Algérienne Des Eaux) et les mesures des paramètres physico-chimiques ont été effectuées sur 37 échantillons (forages). Figure (IV-1)

### V.2.2. Mesures in situ:

Cinq paramètres ( $T_c$ , pH, la conductivité électrique et le niveau piézométrique) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un multi-paramètres.

### V.2.3. Analyse des éléments chimiques:

Une analyse des éléments chimiques fondamentaux ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $HCO_3^-$ ) a été effectuée ainsi que le cycle de l'azote  $NO_3^-$ .

Trois méthodes d'analyse ont été utilisées :

- ✓ Dosage titrimétrique ( $HCO_3^-$ );
- ✓ Dosage colorimétriques ( $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ );
- ✓ Dosage par spectrométrie d'adsorption atomique ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  et  $K^+$ );

**Tableau (V-1):** Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux C.T (décembre 2014)

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart -type	Coefficient de variation
$T_c$	17,300	33,400	25,246	3,062	0,121
$Ca^{2+}$	10,600	36,199	16,933	5,965	0,352
$Mg^{2+}$	5,201	29,686	11,523	6,317	0,548
$Na^+$	4,160	43,230	24,782	5,772	0,233
$K^+$	0,612	1,444	1,080	0,255	0,237
$Cl^-$	8,364	36,869	25,342	5,067	0,200
$SO_4^{2-}$	3,908	36,816	18,751	10,177	0,543
$HCO_3^-$	0,820	3,701	2,622	0,529	0,202
$NO_3^-$	0,067	4,591	1,475	0,821	0,557
Cduc, ms/cm	3070	7190	4061,405	679,820	0,167

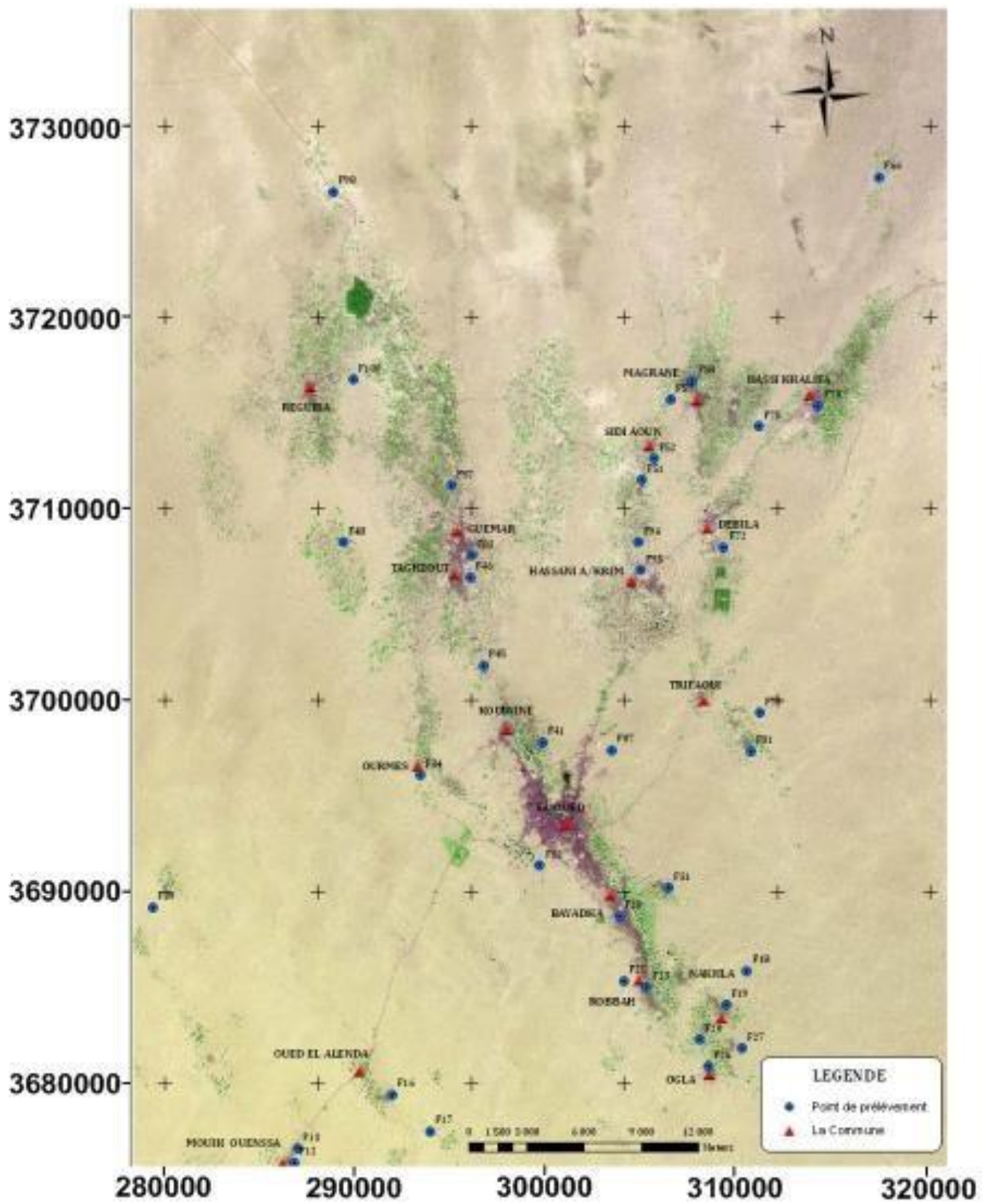


Figure (V-1): Position des forages d'eau pour les analyses chimiques (décembre 2014)

**V.4. LES PARAMETRES PHYSICOCHEMISTIQUES:****V.4.1. Les paramètres physiques :****V.4.1.1. La température :**

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz et par conséquent sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, donc sur son origine. La quasi-totalité des eaux de la nappe du complexe terminal présentent une température qui varie entre 17°C et 33°C. Cette variation thermique des eaux souterraines peut être fonction de la profondeur de l'aquifère:

- ✓ Si l'aquifère est très profond comme dans notre cas, les eaux ne sont influencées que par le gradient géothermique, elles ne présentent pas donc une grande variation de température;
- ✓ Si l'aquifère est peu ou pas profond, la température des eaux sera influencée essentiellement par les variations climatiques.

**V.4.1.2. Potentiel Hydrogène (pH):**

La concentration des ions (H<sup>+</sup>) est exprimée par le logarithme décimal de l'inverse de cette concentration :  $\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$ .

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si :

- $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-] \longrightarrow \text{pH} > 7$  : l'eau est basique ;
- $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-] \longrightarrow \text{pH} < 7$  : l'eau est acide ;
- $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] \longrightarrow \text{pH} = 7$  : l'eau est neutre ;

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau prélevé, La teneur minimale de pH est enregistrée au forage F34 avec  $\text{pH} = 7.01$ , et la teneur maximale est enregistrée au forage F70 avec  $\text{pH} = 8.10$ , ce qui reflète un caractère basique des eaux de la région. (Figure V-3)

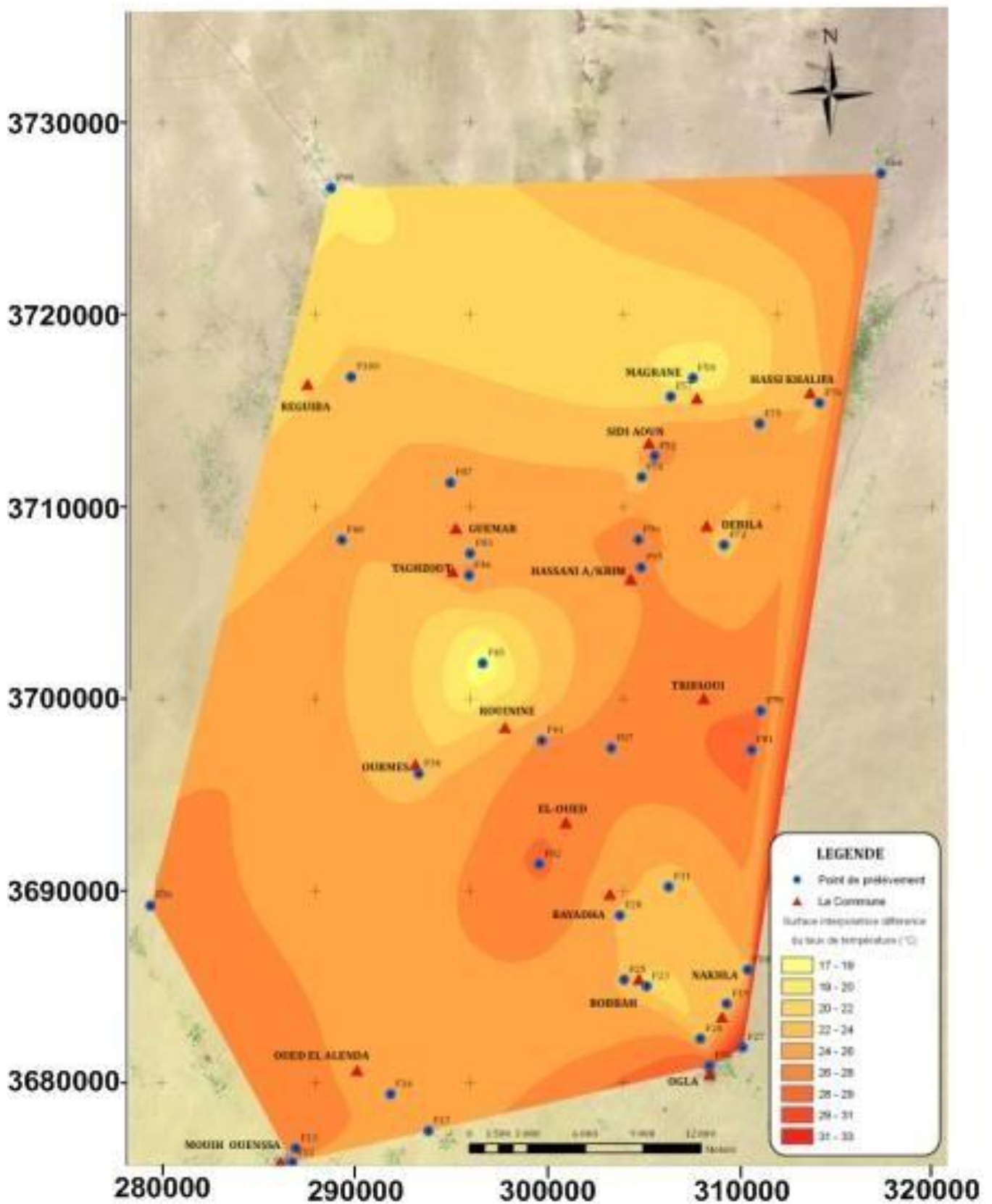


Figure (V-2): Carte de Température (°C) (décembre 2014)

**V.4.1.3. Conductivité électrique:**

La conductivité électrique d'une eau caractérise sa faculté à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est exprimée en  $\mu\text{S} / \text{cm}$ . Généralement les valeurs sont ramenées à 25° C.

La conductivité, ou son inverse la résistivité, permet donc une estimation de la minéralisation des eaux. On sait qu'une eau salée est très conductrice, par contre une eau pure est très résistante. Le tableau (V-2) montre que la majorité des eaux de la nappe du complexe terminal de la vallée d'Oued- Souf ont une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevée.

**Tableau (V-2):** Classification des eaux en fonction de la conductivité.

<b>Conductivité (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>) à 25 °C</b>	<b>Degré de minéralisation</b>	<b>% des points d'eau</b>
<b>&lt; 45</b>	Très faible	0
<b>450 – 750</b>	Faible	0
<b>750 – 1500</b>	Moyen	0
<b>1500 –</b>	Moyennement élevé	0
<b>2300 –</b>	Elevé	0
<b>&gt; 3000</b>	Très élevé	100

La carte (Figure V-4) montre que la teneur minimale de la conductivité électrique est enregistrée au forage F70 avec 3070  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et la teneur maximale est enregistrée au forage F28 avec 7190  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elle montre que la conductivité augmente dans le sens d'écoulement des eaux.



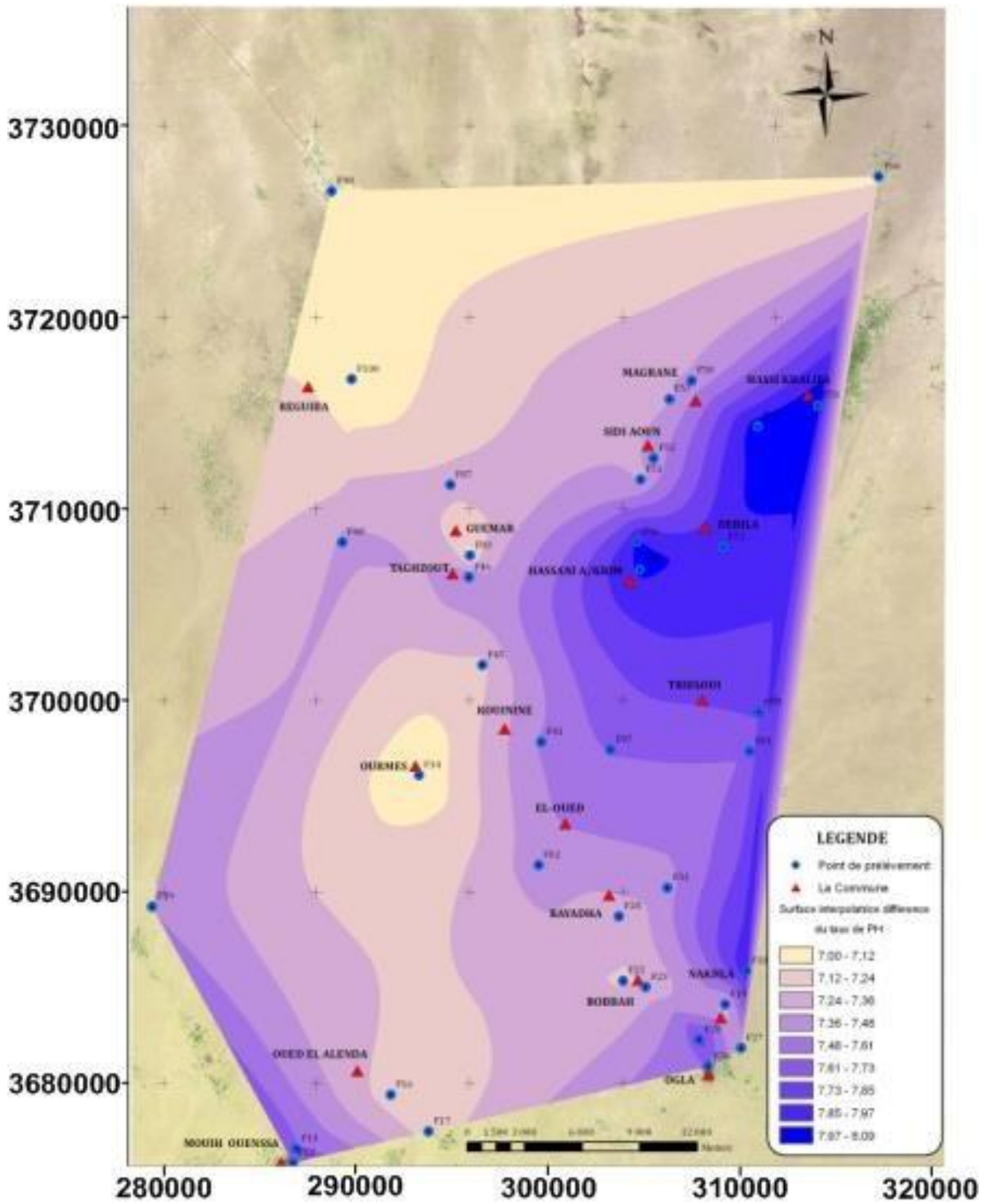


Figure (V-3): Carte de pH (décembre 2014)

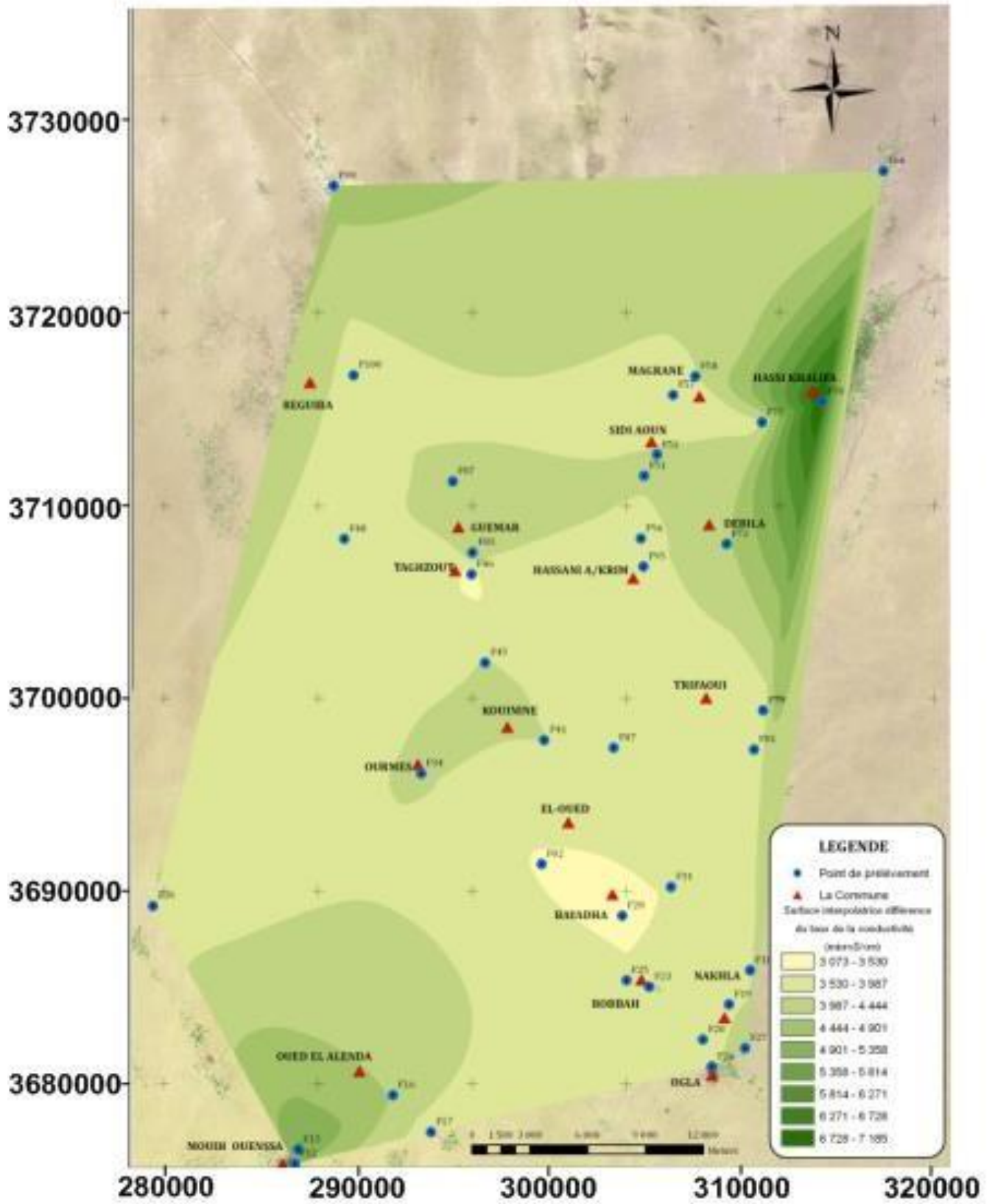


Figure (V-4): Carte de conductivité (µs/cm) (décembre 2014)

**V.4.2. Les paramètres chimiques:**

Lors de son transit, l'eau acquit une composition chimique liée à la nature lithologique du terrain traversé. L'analyse des eaux montre les principaux éléments chimiques suivants :

**V.4.2.1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ):**

Le calcium est l'un des principaux cations associés à la dureté de l'eau potable. C'est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium.

Le calcium peut provenir de deux origines naturelles différentes qui sont :

La dissolution des formations carbonatées et la dissolution des formations gypsifères ( $\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ).

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du calcium est enregistrée au forage F02 avec 212.42 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F98 avec 725.44 mg/l (Figure V-5).

**V.4.2.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ):**

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants. Il constitue 2,5 pour cent de la croûte terrestre et forme généralement des minéraux comme la giobertite (magnésite), la dolomie, l'olivine, la serpentine, le talc et l'amiante. Toutes les eaux naturelles en contiennent et il contribue largement à leur dureté. Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du magnésium est enregistrée au forage F41 avec 63.14 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F16 avec 360.70 mg/l (Figure V-6).



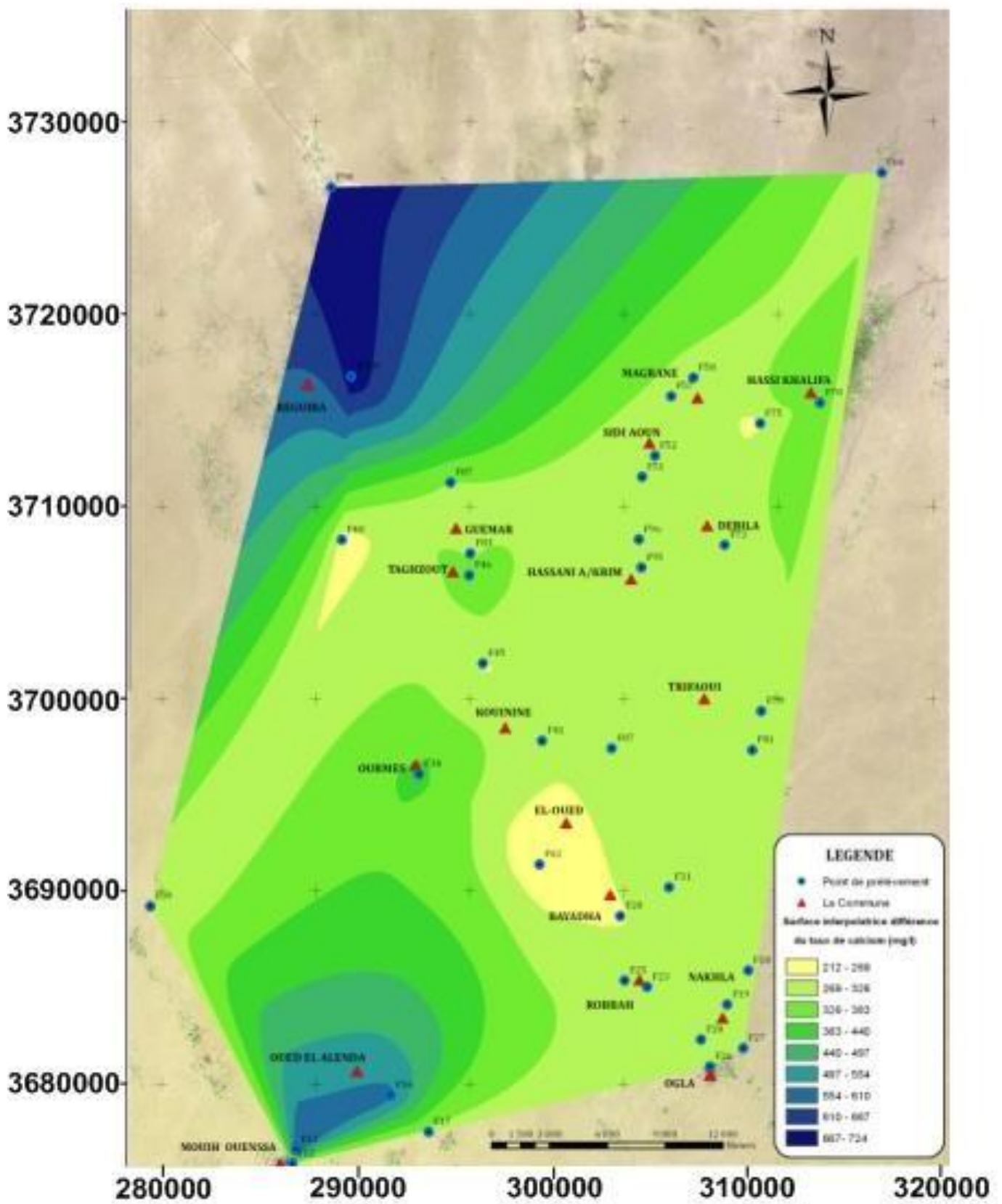


Figure (V-5): Carte de  $Ca^{2+}$  (mg/l) (décembre 2014)

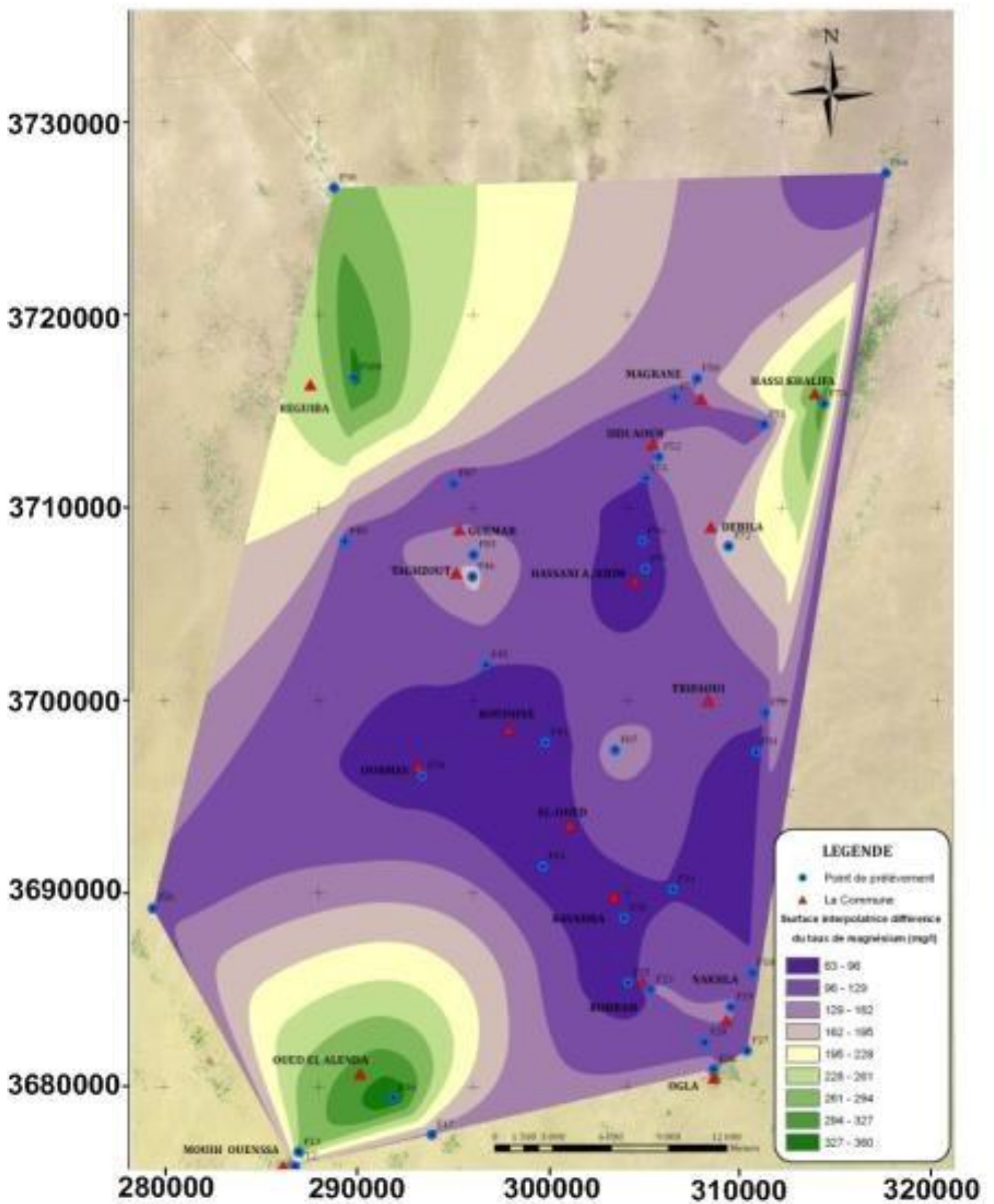


Figure (V-6): Carte de  $Mg^{2+}$  (mg/l) (décembre 2014)

**V.4.2.3. Sodium ( $\text{Na}^+$ ):**

Le sodium est un métal mou, blanc argenté et fortement réactif qui, dans la nature, ne se rencontre qu'à l'état combiné. Ce métal alcalin se présente fréquemment sous forme ionisée. On observe que, dans les milieux biologiques et même dans les solides tels que le chlorure de sodium, le métal garde l'état ionisé. À cause de la forte solubilité de ses minéraux, le sodium se retrouve partout dans le milieu aquatique. Ses concentrations varient considérablement selon les paramètres hydrologiques et géologiques régionaux et locaux, la saison et le mode d'utilisation du sel.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du sodium est enregistrée au forage F100 avec 95.63 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F70 avec 993.80 mg/l (Figure V-7).

**V.4.2.4. Potassium ( $\text{K}^+$ ):**

Le potassium est le deuxième élément le plus léger, le plus réactif, le plus électropositif des métaux. C'est un solide mou qui est facilement coupé à l'aide d'un couteau. Les surfaces fraîchement coupées ont un aspect métallique. Il s'oxyde rapidement dans l'air et doit donc être conservé dans l'huile. Comme les autres métaux alcalins, il se décompose au contact de l'eau avec formation d'hydrogène. Lorsqu'il est plongé dans l'eau, il prend feu spontanément. Ses sels émettent une couleur violette lorsqu'ils sont exposés à une flamme.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale de potassium est enregistrée au forage F66 avec 23.89 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F12 avec 56.40 mg/l (Figure V-8).

**V.4.2.5. Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ):**

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium ( $\text{Na}^+$ ) et de potassium ( $\text{K}^+$ ); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère. Ce sont les océans qui contiennent de loin la plus grande quantité de chlorures dans l'environnement.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau prélevés, la teneur minimale du chlorure est enregistrée au forage F48 avec 296.59 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F70 avec 1307.40 mg/l (Figure V-9).

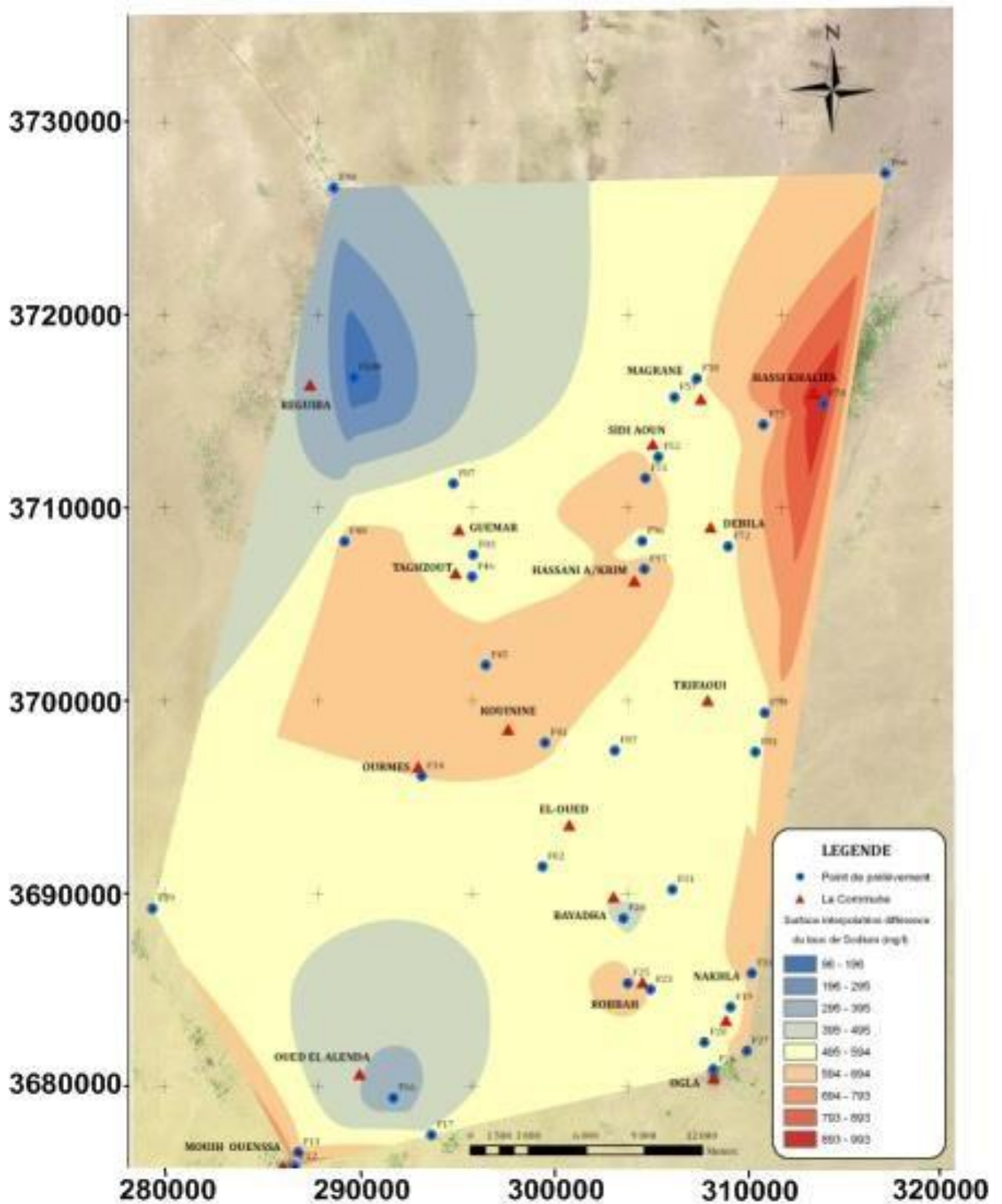


Figure (V-7): Carte de  $\text{Na}^+$  (mg/l) (décembre 2014)



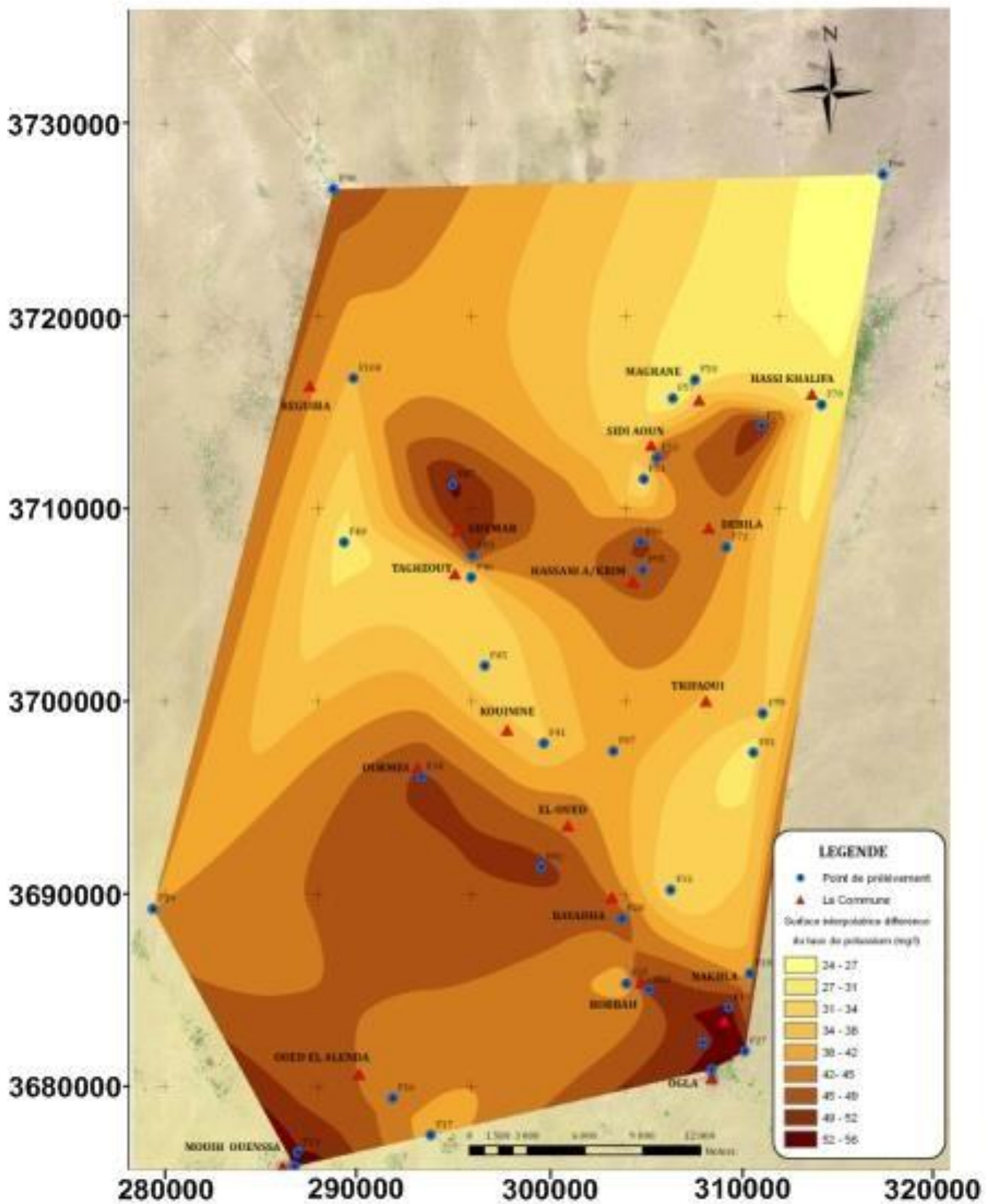


Figure (V-8): Carte de  $K^+$  (mg/l) (décembre 2014)

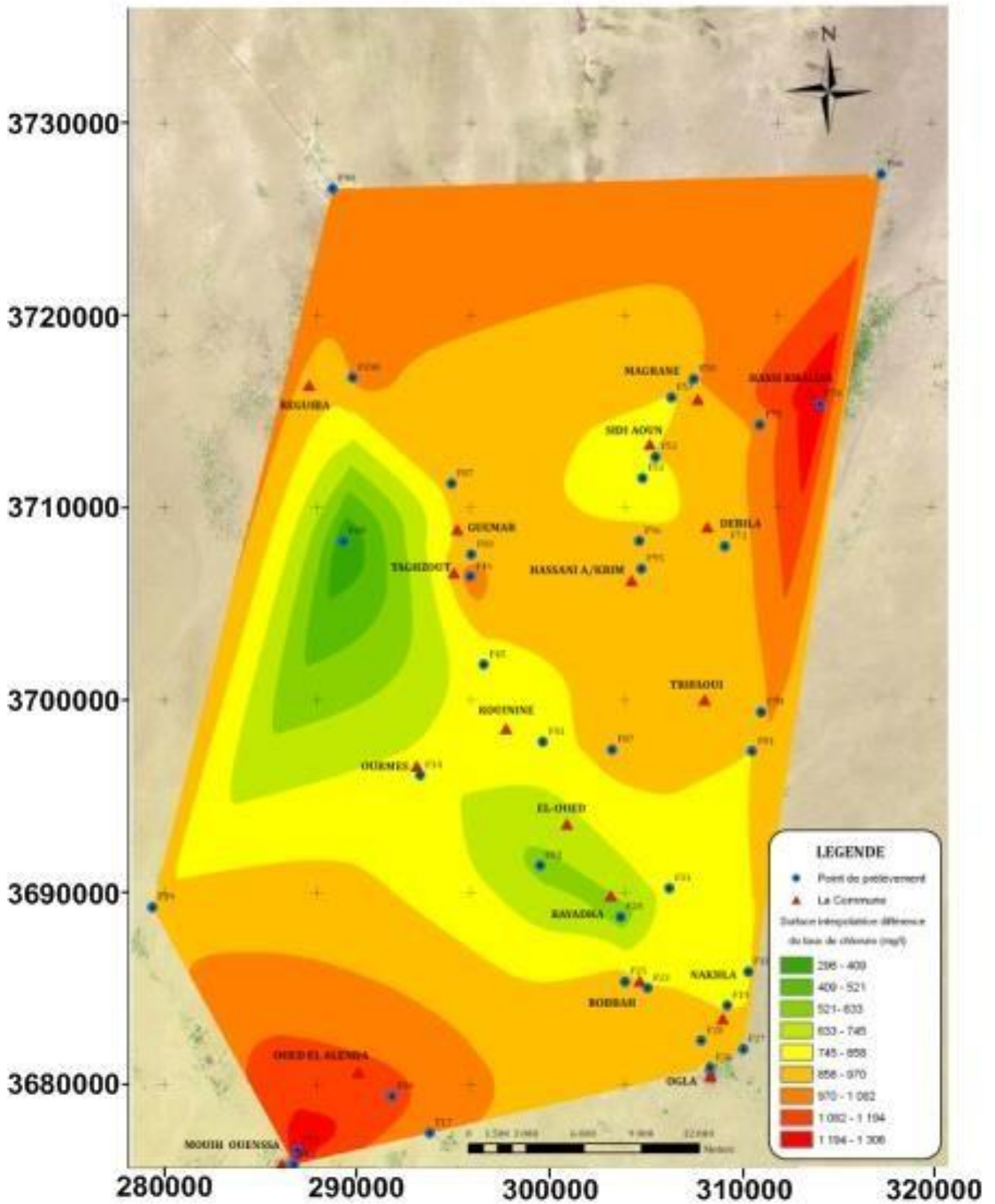


Figure (V-9): Carte de Cl . (mg/l) (décembre 2014)

**V.4.2.6. Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ):**

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours des sulfates, en proportion très variables. Leurs présences résultent de la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (les pyrites).

De plus l'oxydation de  $\text{H}_2\text{S}$  et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère entraîne lors de précipitation l'acidification des lacs et des rivières ainsi qu'une augmentation de la teneur en sulfates.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du chlorure est enregistrée au forage F17 avec 187.87 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F45 avec 1770 mg/l (Figure V-10).

**V.4.2.7. Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ):**

Les bicarbonates, ou hydrogénocarbonate, est un ion poly atomique dont la formule chimique est  $\text{HCO}_3^-$ . "Bicarbonate porte ce nom de par le caractère double de ses propriétés, il est à la fois acide et base appartenant à deux couples acido-basiques différents, on appelle cela une espèce ampholyte. À ne pas confondre avec les ions carbonates qui portent deux charges négatives. Il s'agit de la forme intermédiaire entre la déprotonation de l'acide carbonique : ôter le premier proton (ion  $\text{H}^+$ ) de l'acide carbonique donne le bicarbonate ; ôter le second proton donnera la forme carbonate ionique.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du chlorure est enregistrée au forage F98 avec 50.02 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F72 avec 225.70 mg/l (Figure V-11).

**V.4.2.8. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ):**

Les nitrates résultent de l'oxydation de l'azote organique et sont donc présents à l'état naturel dans les sols et dans les eaux. L'augmentation du taux de nitrates dans les eaux superficielles et souterraines est due pour une large part à l'enrichissement des sols par des engrais chimiques ou organiques, ainsi qu'aux rejets d'eaux usées ou mal traitées dans les cours d'eau. Les nitrates en eux-mêmes ne présentent pas de danger particulier pour la santé, c'est leur transformation en nitrites dans l'estomac qui peut être toxique.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du chlorure est enregistrée au forage F02 avec 0.94 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F13 avec 64.30 mg/l (Figure V-11).

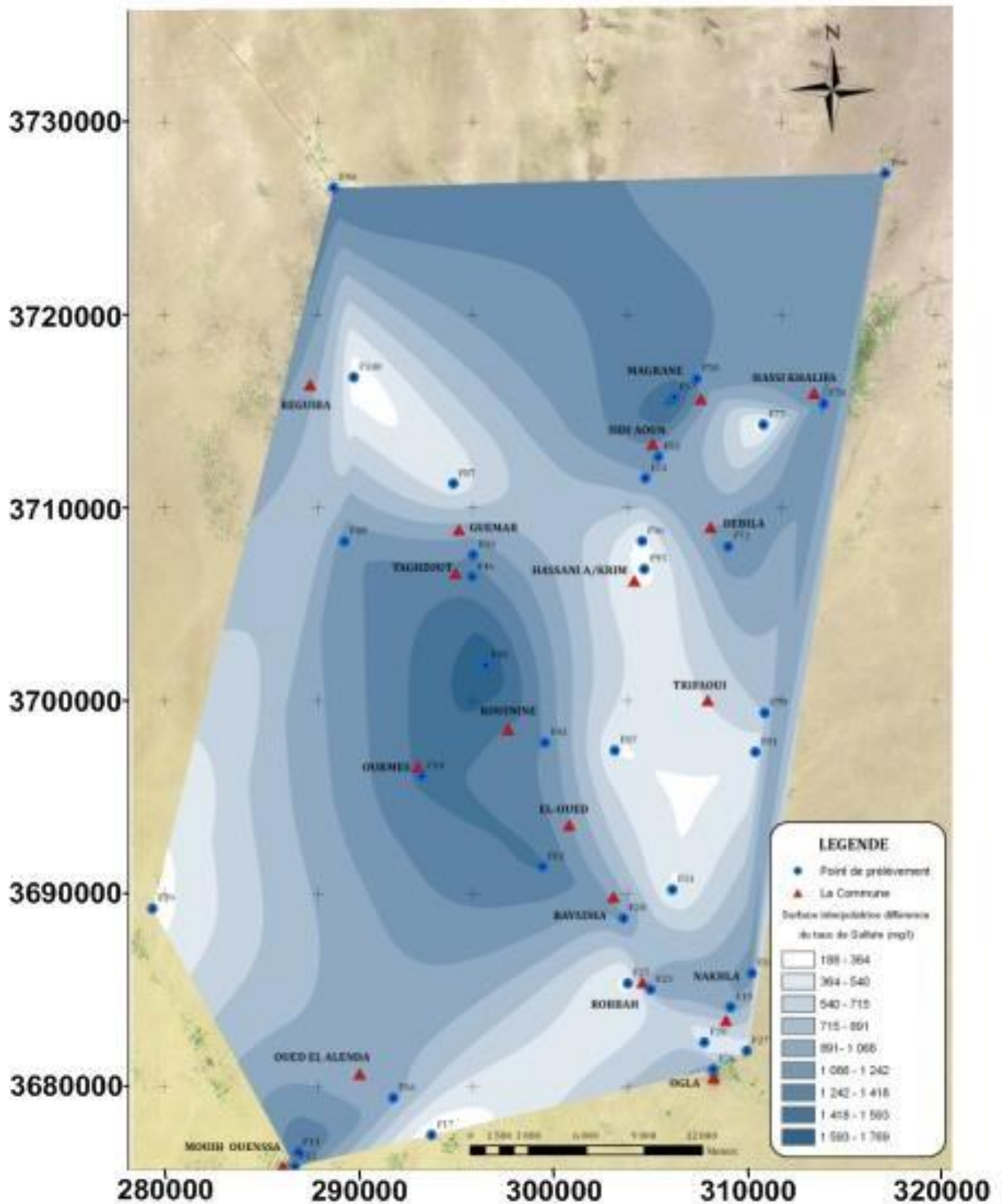


Figure (V-10) : Carte de  $SO_4^{2-}$  (mg/l) (décembre 2014)



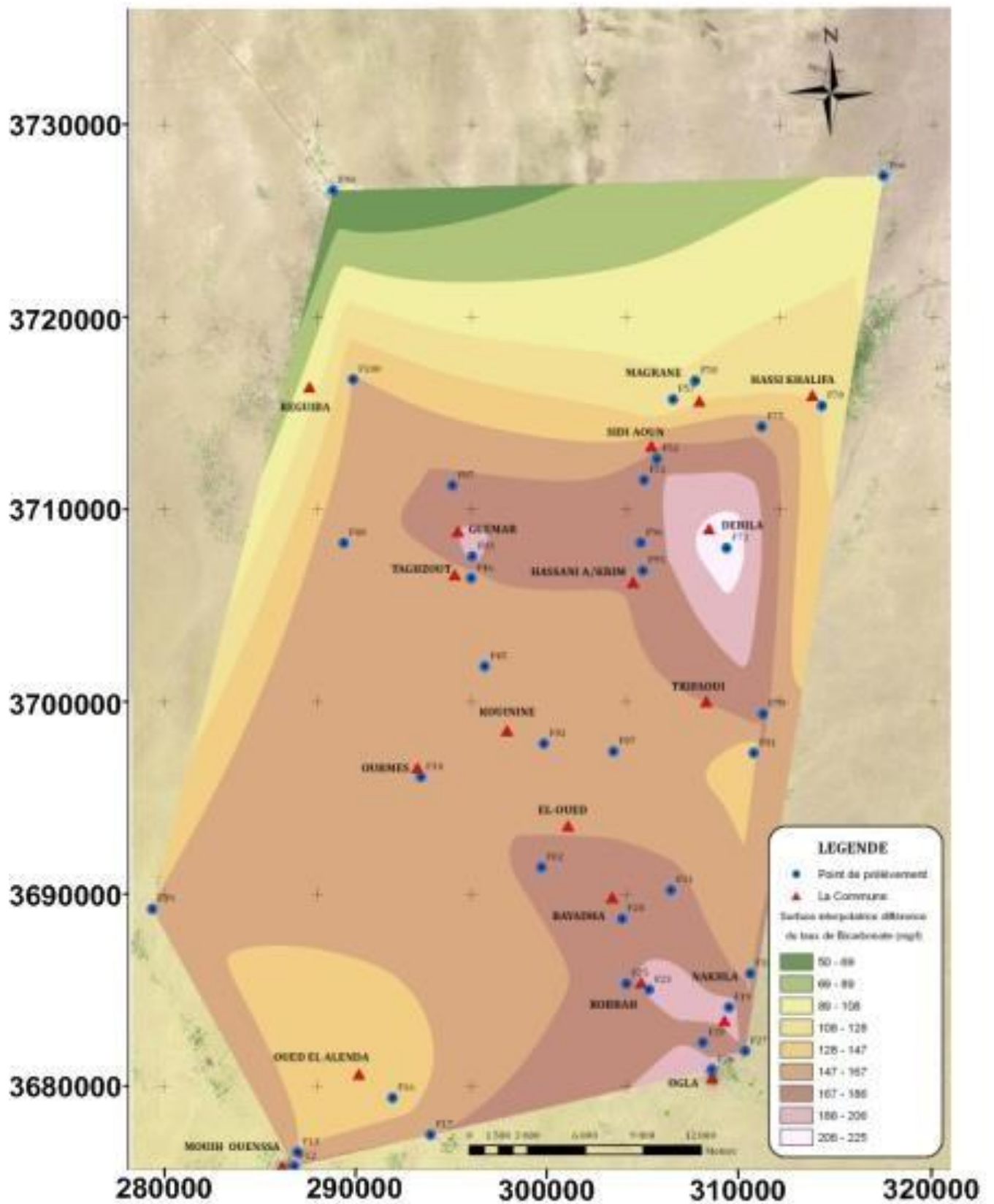


Figure (V-11): Carte de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) (décembre 2014)

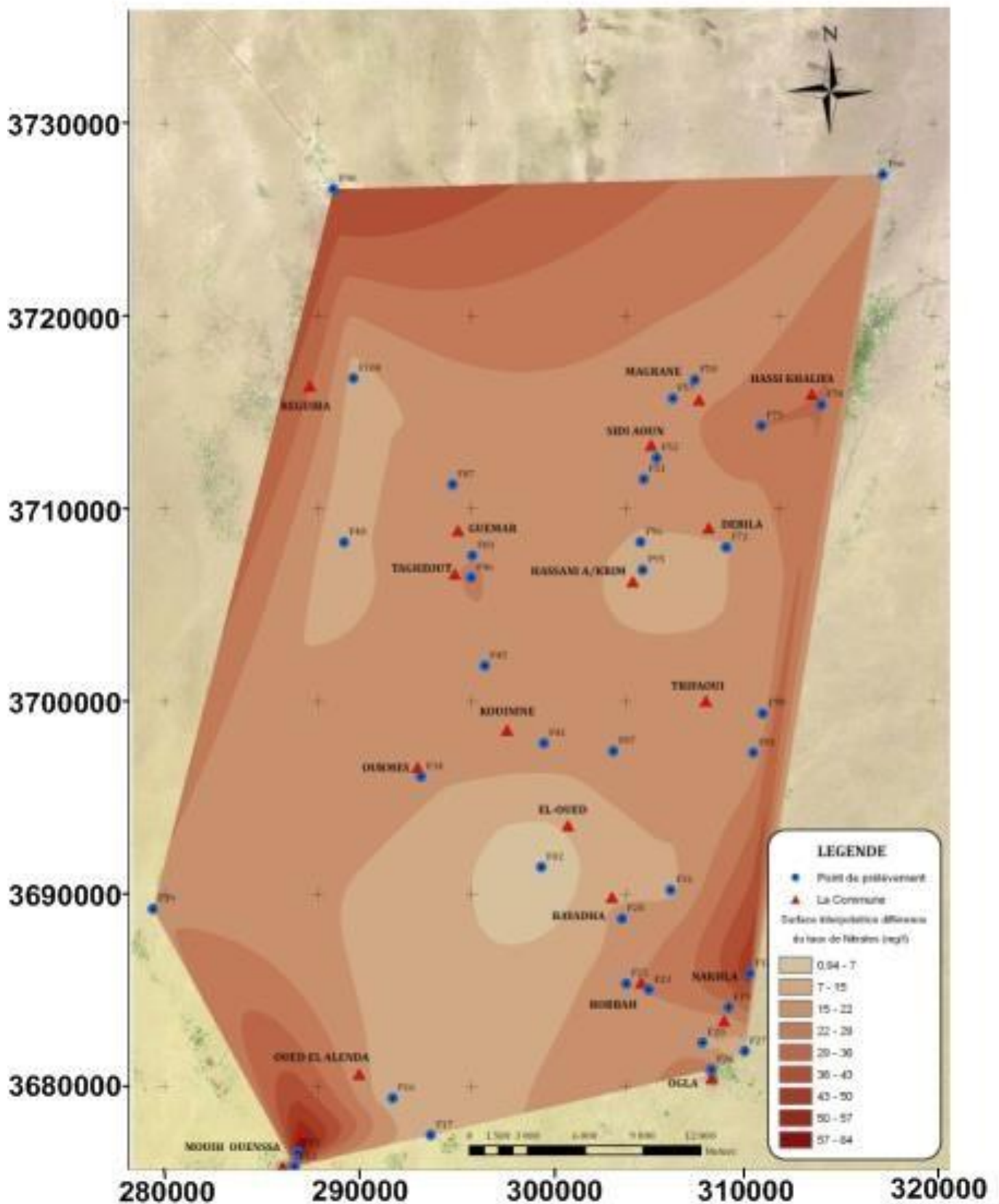


Figure (V-12): Carte de NO<sub>3</sub>. (mg/l) (décembre 2014)

## V.5. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX:

### V.5.1. Représentation graphique des faciès hydrochimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux de la nappe complexe terminal, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de PIPER et STABLER à celui de SCHOELLER – BERKALOFF. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

#### V.5.1.1. Formule caractéristique de STABLER:

La formule caractéristique selon STABLER consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale. La formule est la suivante :

$$r\% = \left( \frac{100}{c} \right) \times r$$

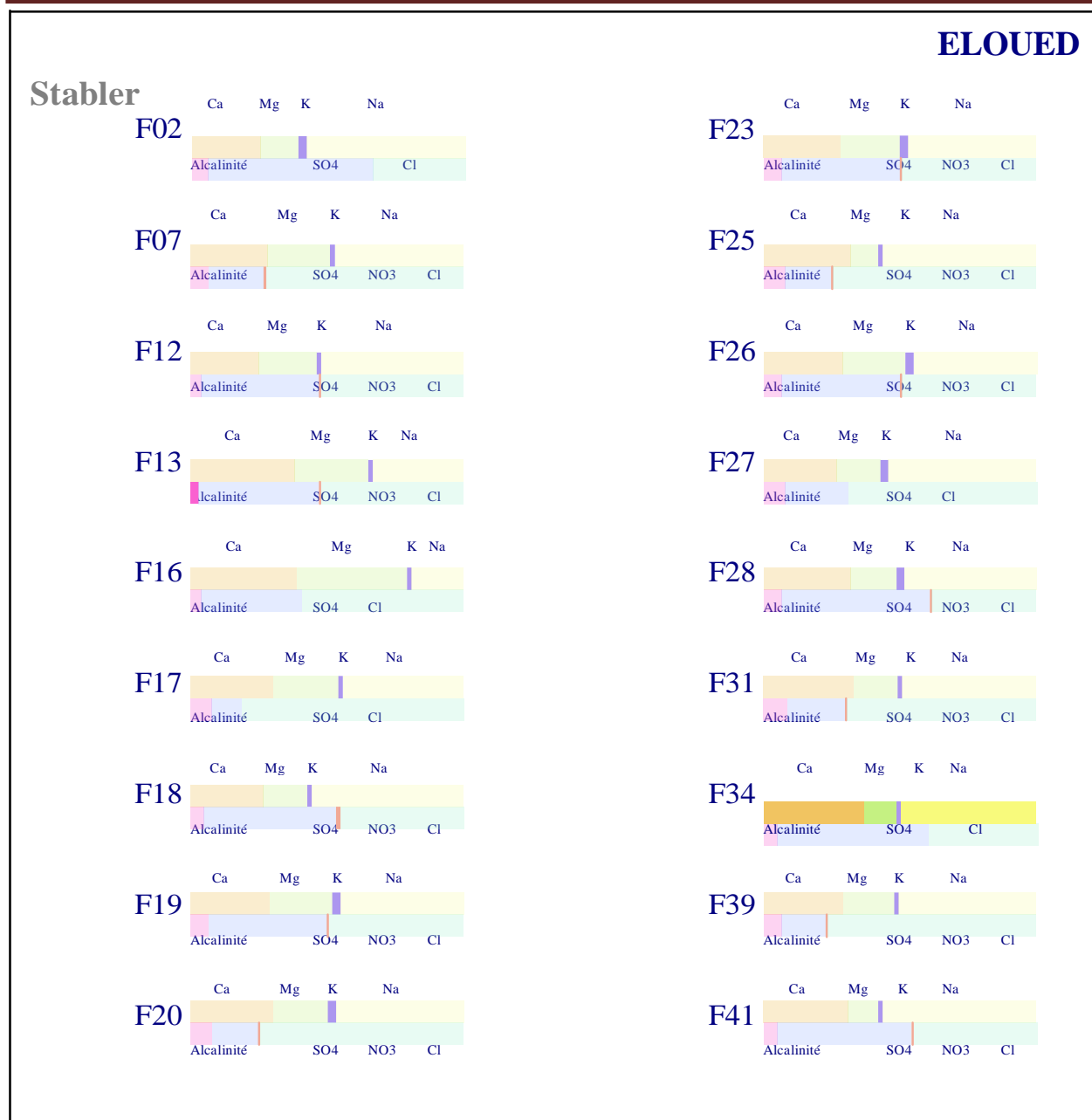
Avec : r : est la quantité en réaction de l'ion considéré en (még/l);

c : la concentration totale.

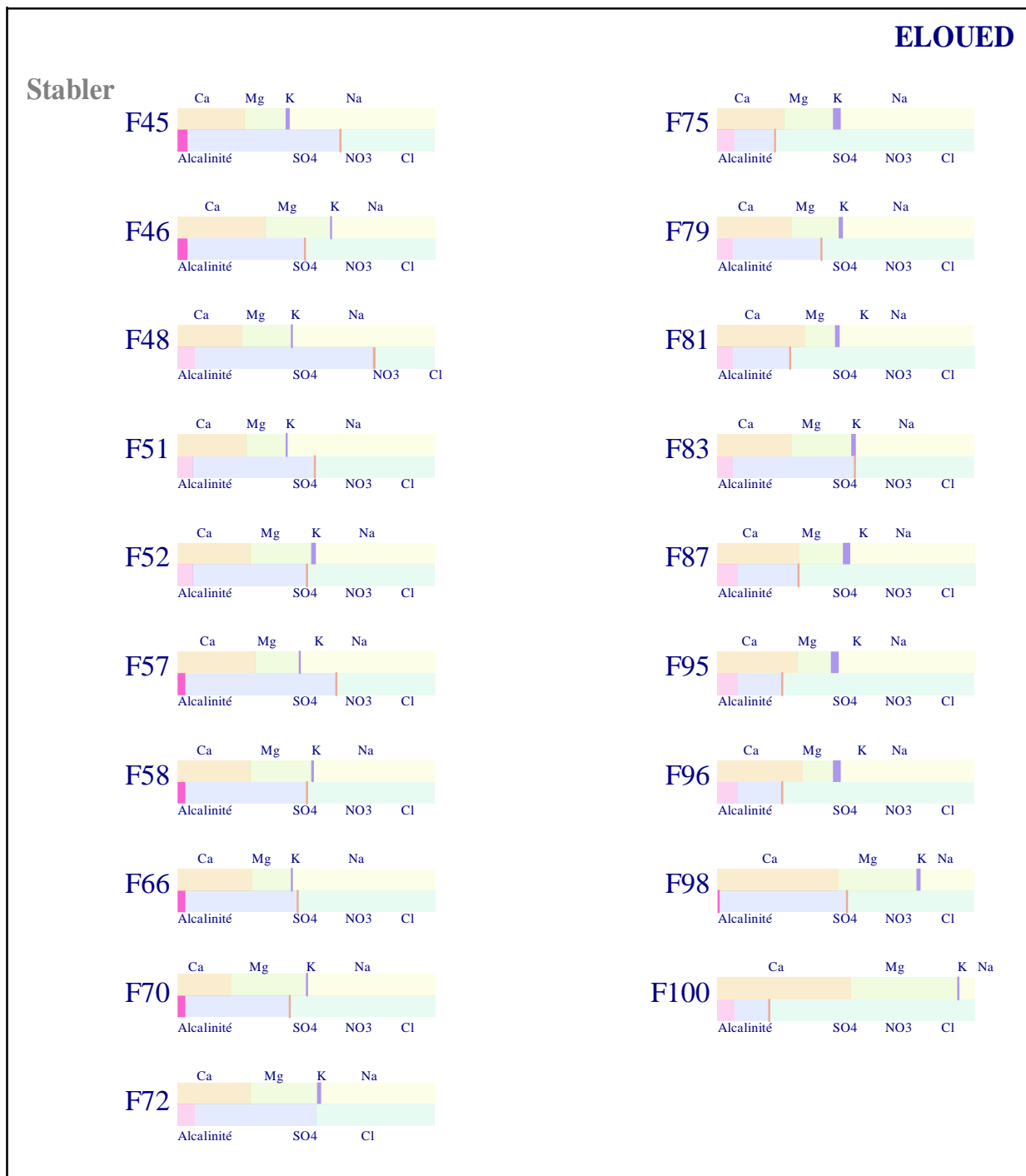
On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant (**voir annexe N°03**). Les résultats obtenus permettent de distinguer les faciès qui figurent dans le tableau (V-3). L'examen de ce tableau montre que les eaux de la compagne (décembre 2014) sont des eaux sulfatées ou chlorurées.

**Tableau (V-3):** Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER

Famille des eaux	Faciès chimique	Pourcentage %	
Chlorurées	Chloruré sodique	60	70
	Chloruré calcique	08	
	Chloruré magnésienne	02	
Sulfatées	Sulfaté sodique	30	30



**Figure (V-13):** Diagramme de STABLER, (décembre 2014/ F02 à F41)



**Figure (V-14):** Diagramme de STABLER, (décembre 2014/ F45 à F100)

**V.5.1.2. Diagramme de PIPER :**

La présentation des analyses chimiques de la campagne (décembre 2014) sur ce type de diagramme (Figure V-15 et V-16) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines. Le tableau (V-4) montre que les eaux de la nappe du complexe terminal présente deux familles dominantes sont :

- ✓ Chlorurées sulfatées calciques et magnésiennes ;
- ✓ Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique ;

**Tableau (V-4):** Classification des eaux selon le diagramme de PIPER

Famille des eaux	Pourcentage %
Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne	10
Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique	90

Nous remarquons que la plus part des eaux analysées présentent un faciès chloruré sodique et sulfatée sodique en liaison avec la nature lithologique des terrains aquifères.

**V.5.1.3. Diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF:**

Le diagramme a été établi par H. SCHOELLER en 1932, et révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Les diagrammes logarithmiques (Figure V.17 et V.18) ont permis d'identifier les grandes familles chimiques suivantes :(tableau V-5). A première vue, on remarque une dominance des chlorures ou des sulfates qui semble être liées à la géologie ou à la forte évaporation.

**Tableau (V-5):** Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLER- BERKALOFF

Faciès chimique		Effectif	Pourcentage %	
<b>Famille des eaux chlorurées</b>	Chlorurée sodique	23	63	<b>73</b>
	Chlorurée calcique	03	09	
	Chlorurée magnésienne	01	03	
<b>Famille des eaux sulfatées</b>	Sulfatée sodique	10	27	<b>27</b>

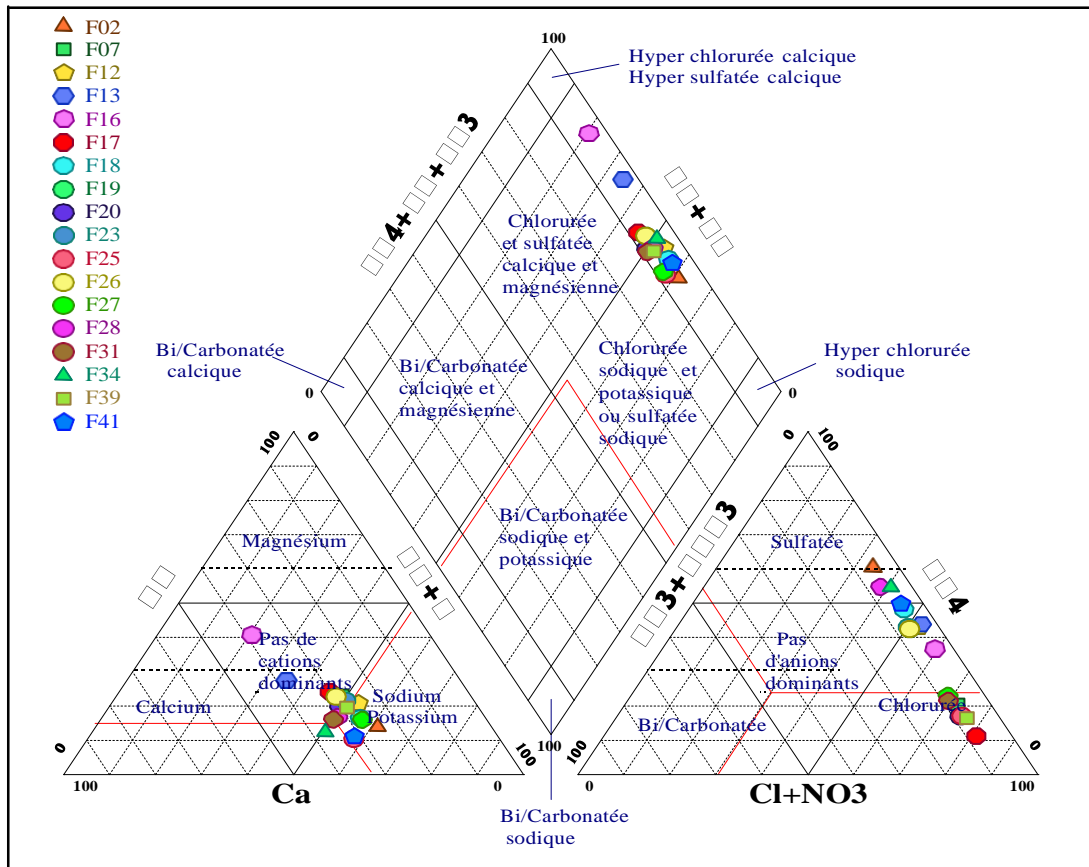


Figure (V-15): Diagramme de PIPER, (décembre 2014/ F02 à F41)

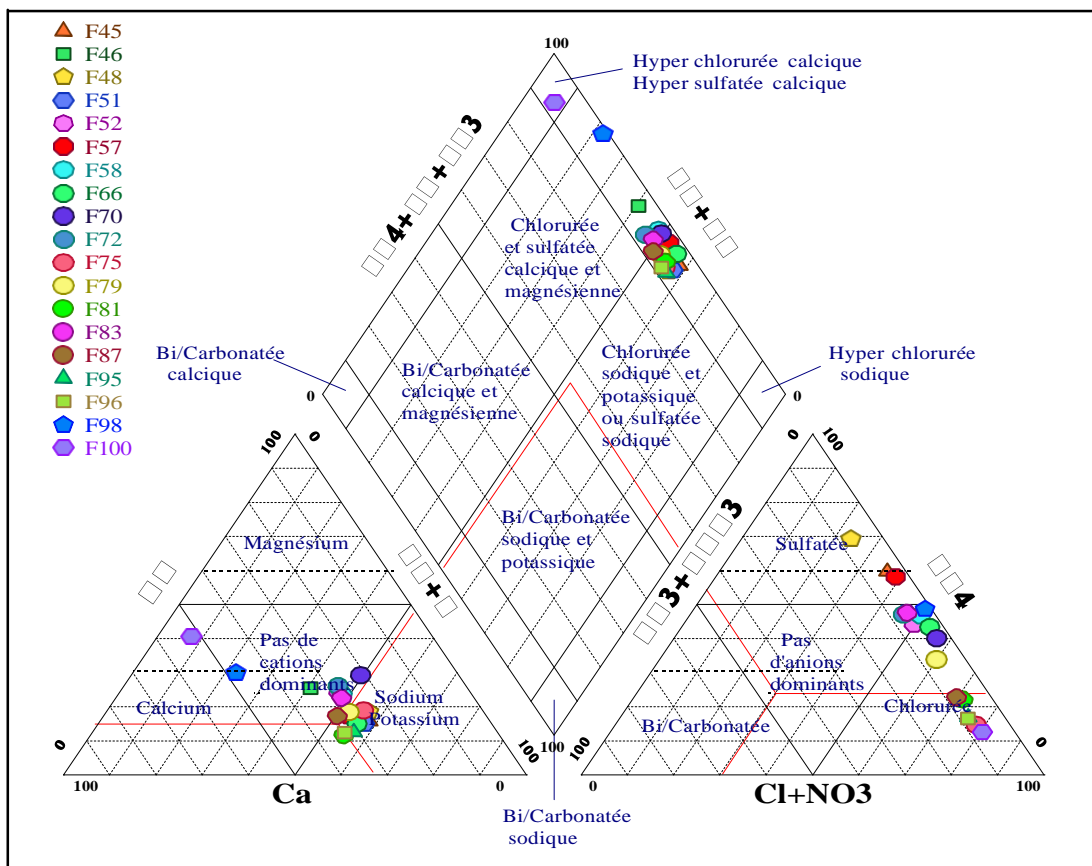


Figure (V-16): Diagramme de PIPER, (décembre 2014/ F45 à F100)



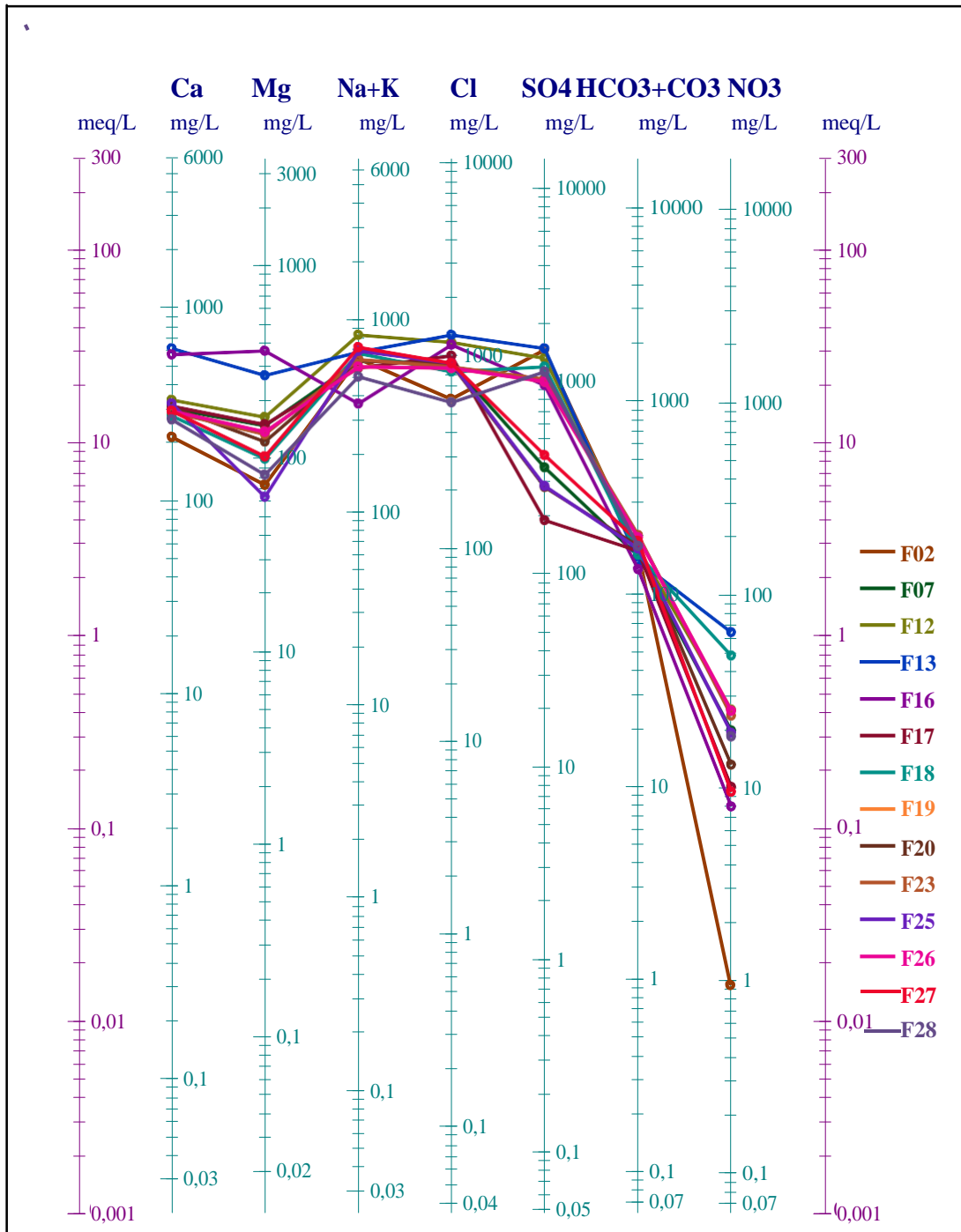


Figure (V-17): Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (décembre 2014/ F02 à F28)



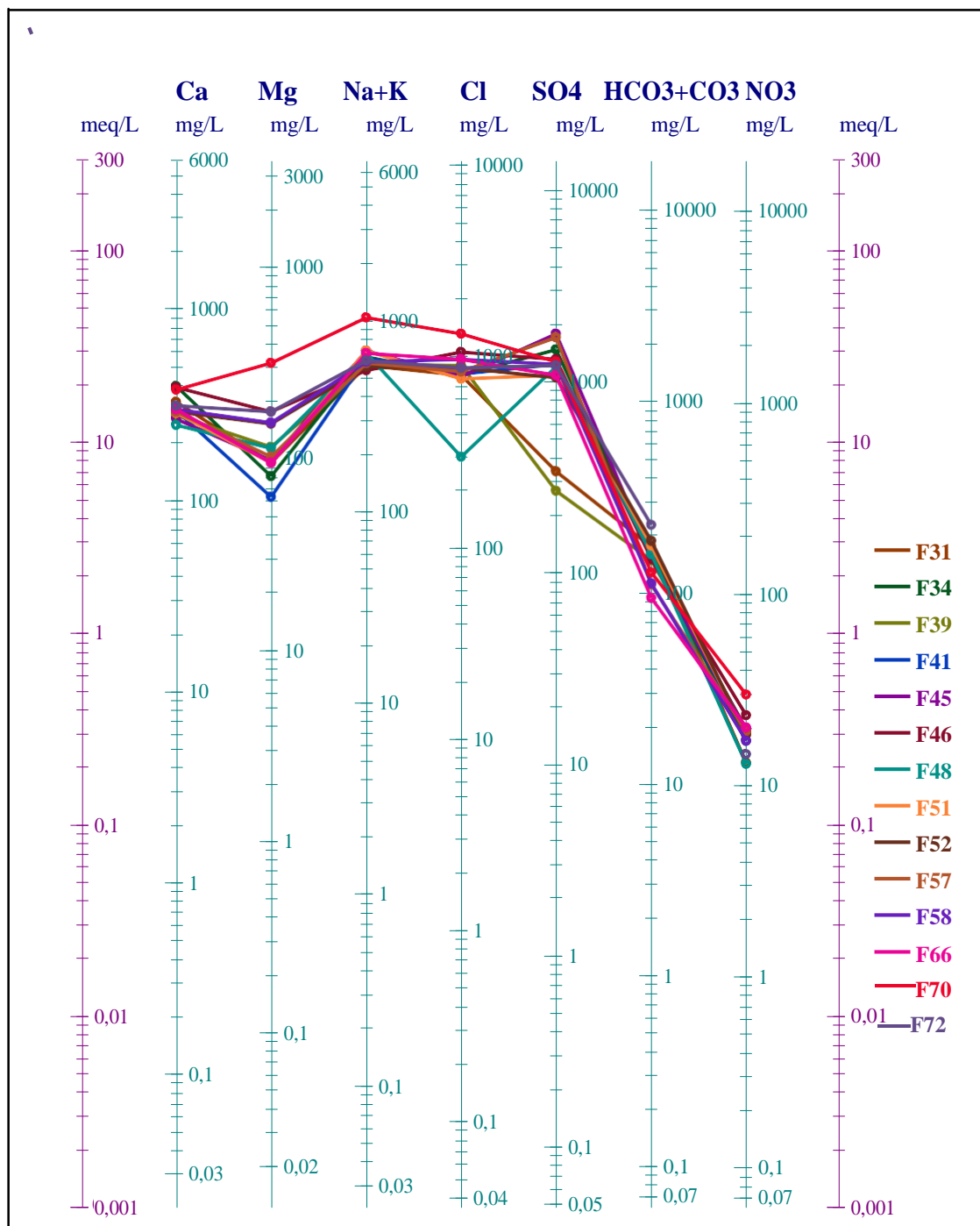


Figure (V-18): Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (décembre 2014/ F31 à F72)

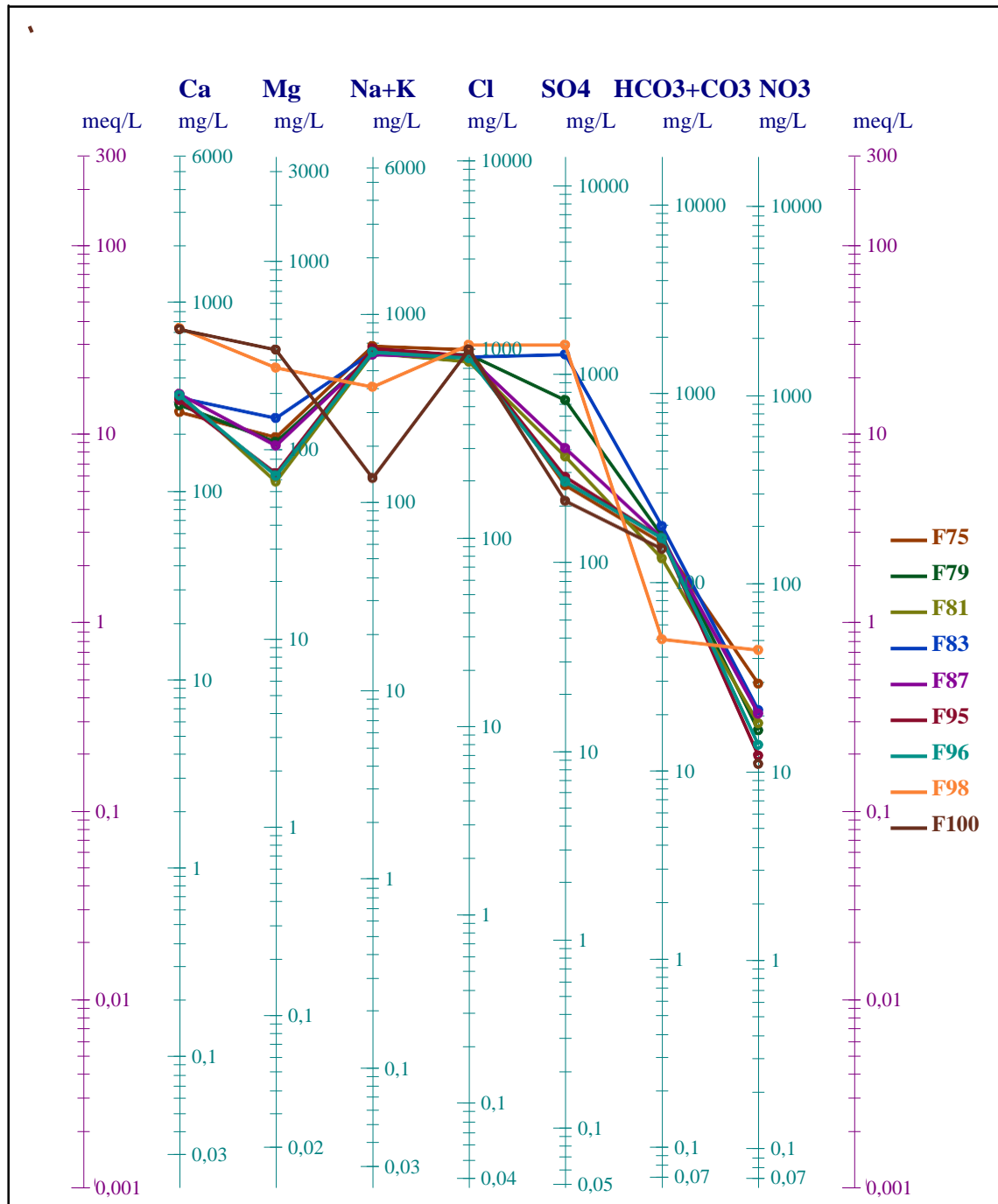


Figure (V-19): Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (décembre 2014/ F75 à F100)

## V.6. ETUDE DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES ET ORIGINE DES ELEMENTS DOMINANTS :

### V.6.1. Rapports caractéristiques :

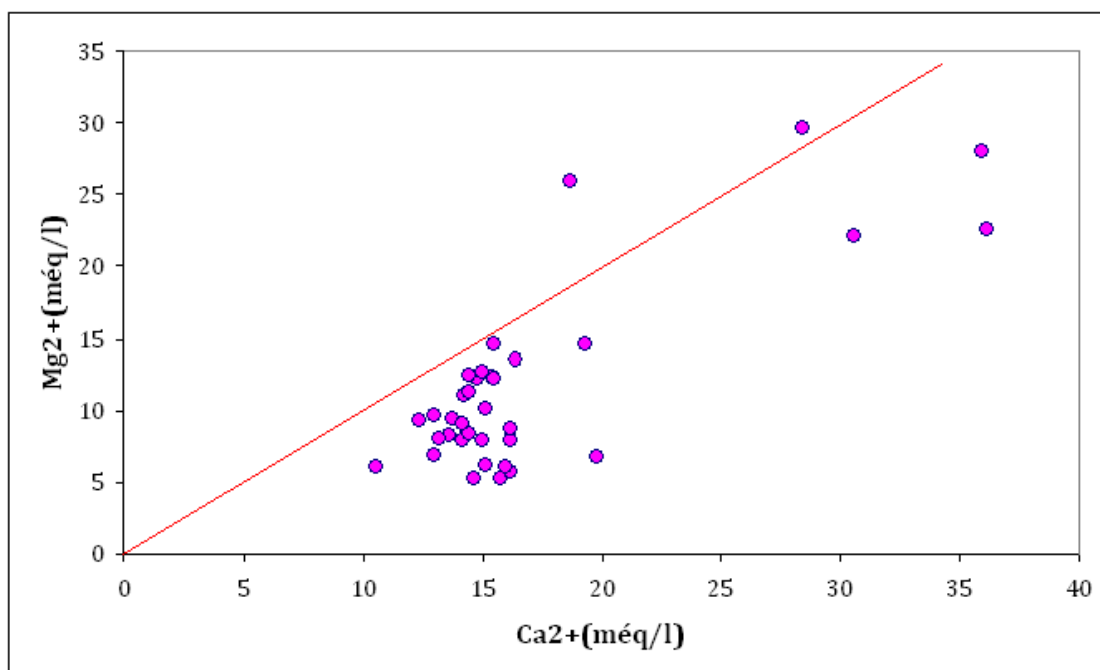
L'étude de variation de ces rapports permet de :

- ✓ Voir l'évolution chimique des eaux pendant leur trajet souterrain ainsi que le contact avec le milieu géologique ;
- ✓ Donner des indications sur la zone d'alimentation et la circulation des eaux souterraines.

Pour expliquer quelques relations existantes entre les éléments chimiques, certains graphes ont été représentés.

#### V.6.1.1. Rapport $r \text{Mg}^{2+} / r \text{Ca}^{2+}$ :

L'examen de la (Figure V-20), permet de remarquer que toutes les valeurs du rapport sont inférieures à 1 pour l'ensemble des points. Dans ce cas l'eau très riche en Calcium., ce qui explique la dissolution rapide des calcaires par rapport aux dolomies

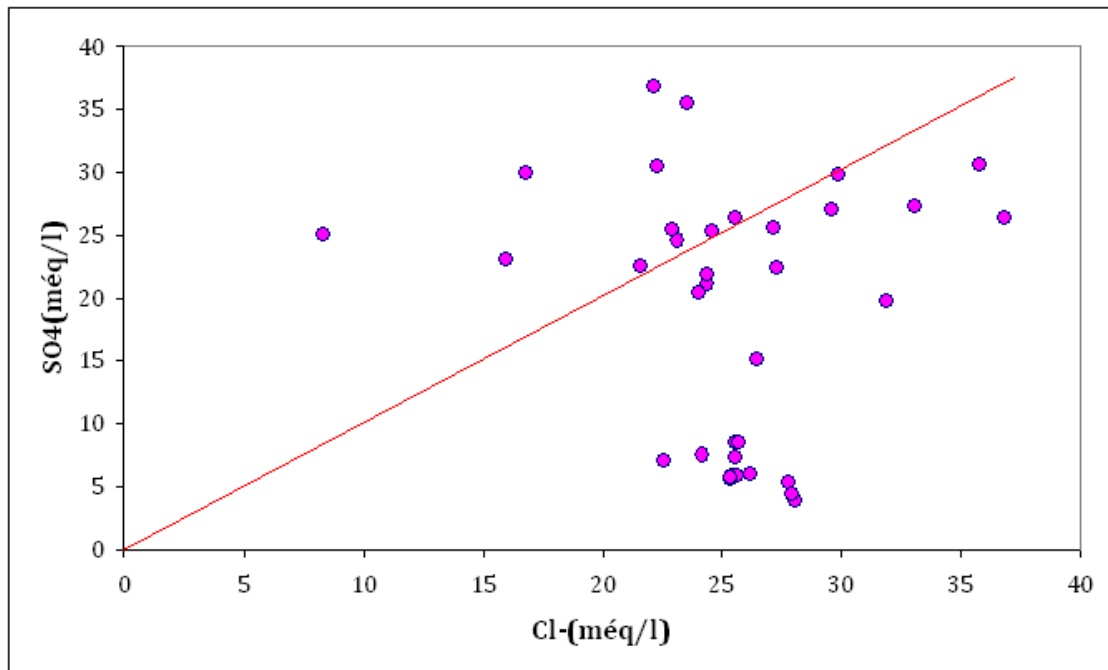


**Figure (IV-20):** Diagramme ( $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ )

#### V.6.1.2. Rapport $r \text{SO}_4^{2-} / r \text{Cl}^-$ :

Tenant compte de la dominance des faciès chloruré et sulfaté, il est important de vérifier la relation entre ces deux éléments. Le graphe montre une dispersion des points indiquant une évolution proportionnelle des deux éléments ayant donc une origine salifère commune.

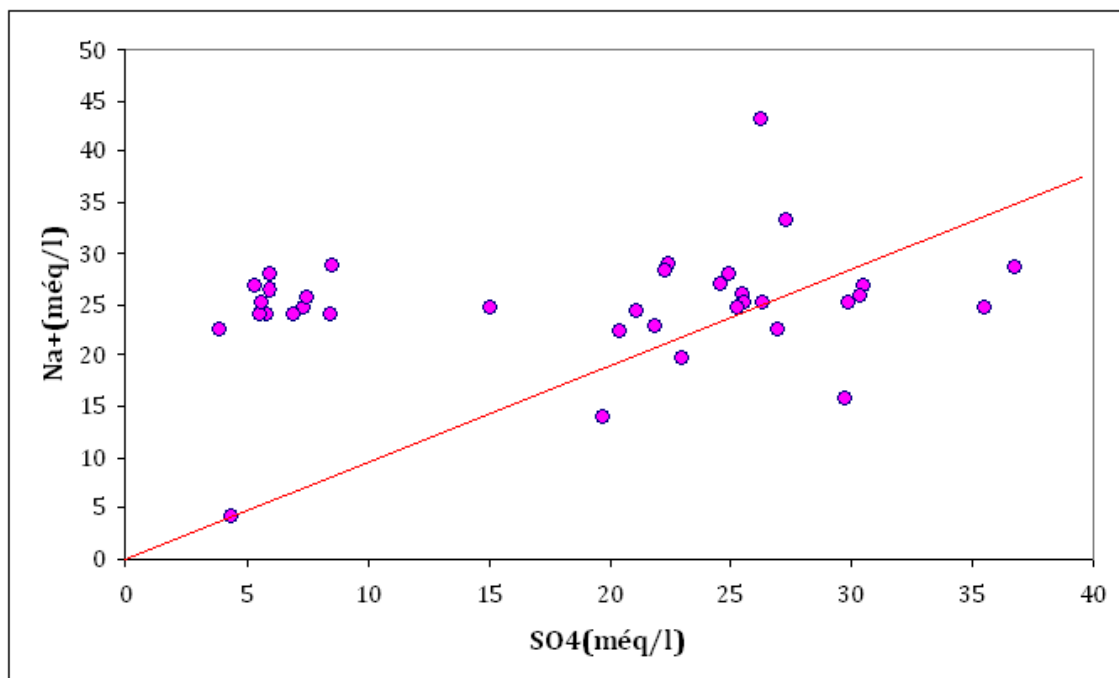
De plus, le graphe montre que quelques points présentent un excès de sulfates et d'autres un excès de chlorures. Cela traduit la dominance du faciès de l'un sur l'autre (Figure V-21).



**Figure (V-21):** Diagramme ( $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ )

#### V.6.1.3. Rapport $r \text{Na}^+ / r \text{SO}_4^{2-}$ :

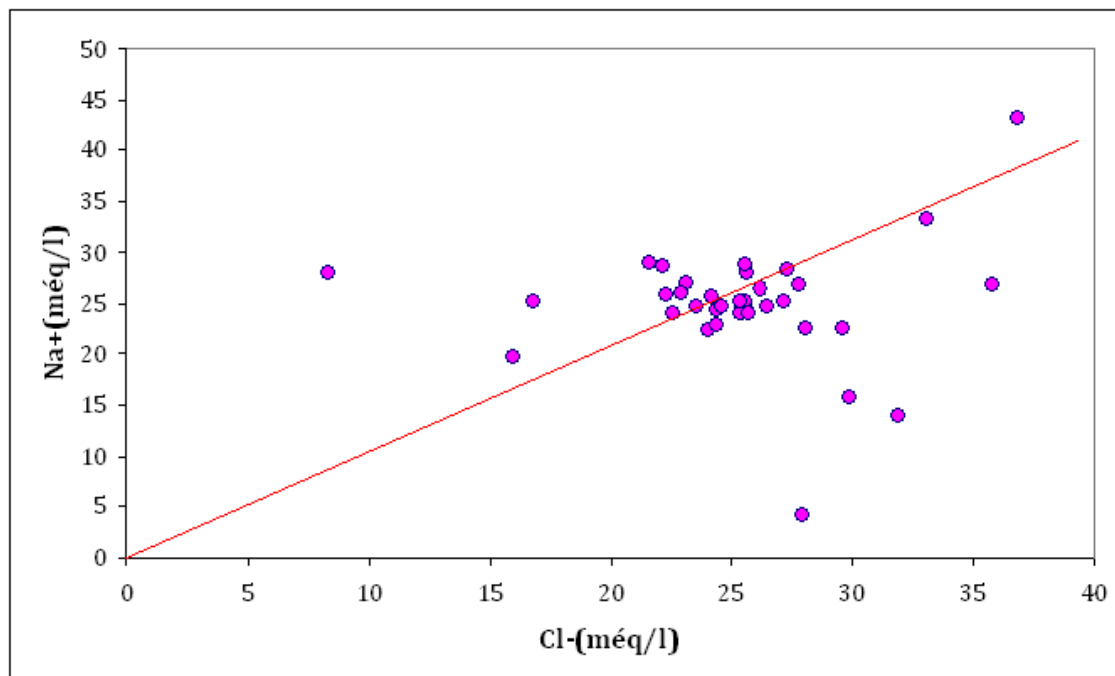
Le graphe montre une dispersion des points indiquant que les deux éléments chimiques ont des origines différentes (Figure V-22). Cette relation ne confirme pas également l'existence du faciès sulfaté sodique. Cette relation montre une diminution du sodium alors que les sulfates restent en évolution.



**Figure (V-22):** Diagramme ( $\text{Na}^+ / \text{SO}_4^{2-}$ )

**IV.6.1.5. Rapport  $r \text{Na}^+ / r \text{Cl}^-$  :**

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des chlorures et du sodium (Figure V-23). Cette relation traduit la dissolution d'un chlorure de sodium d'origine salifère. Cette relation confirme également l'existence du faciès chloruré sodique.



**Figure (V-23):** Diagramme ( $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ )

**V.6.1.5. Rapport  $r \text{Ca}^{2+} / r \text{Cl}^-$  :**

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des chlorures et du calcium (Figure V-24). Cette relation confirme l'existence du faciès chloruré calcique.

Notons que ce faciès 'anormal' est le résultat d'un signe de pollution (cas F98 et F100) et / ou d'un mélange des eaux de l'aquifère superficiel et profond.

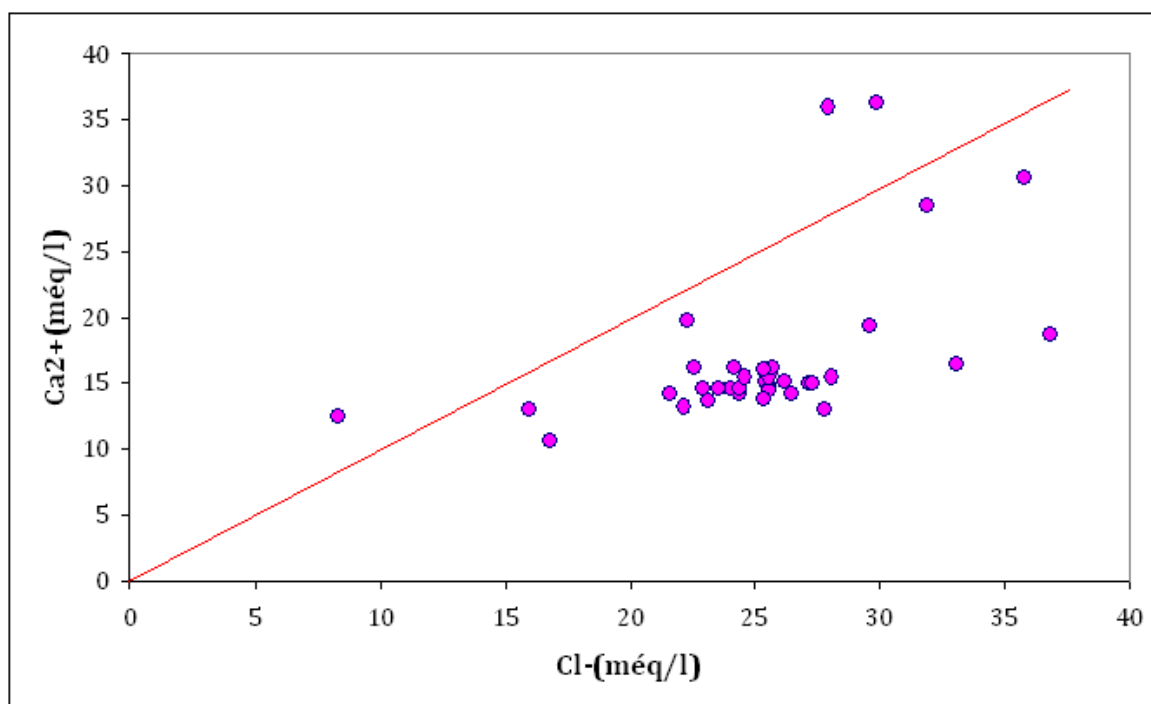


Figure (V-24): Diagramme ( $\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$ )

#### V.6.1.6. Rapport $r\text{HCO}_3^- / r(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl})$ – Conductivité

La représentation graphique des points d'eau sur ce diagramme montre une diminution logarithmique du rapport en fonction de la conductivité électrique (Figure V-25).

Deux pôles sont observés. L'un carbonaté est caractérisé par une dominance des ions carbonatés ( $\mu < 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) et l'autre représente le pôle évaporitique et affirme une dominance des ions sulfatés et chlorurés. Ce pôle apparaît pour les conductivités électriques supérieures à  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

L'examen de la figure confirme donc que la conductivité électrique de l'eau est due aux sulfates et aux chlorures avec une légère dominance des sulfates.

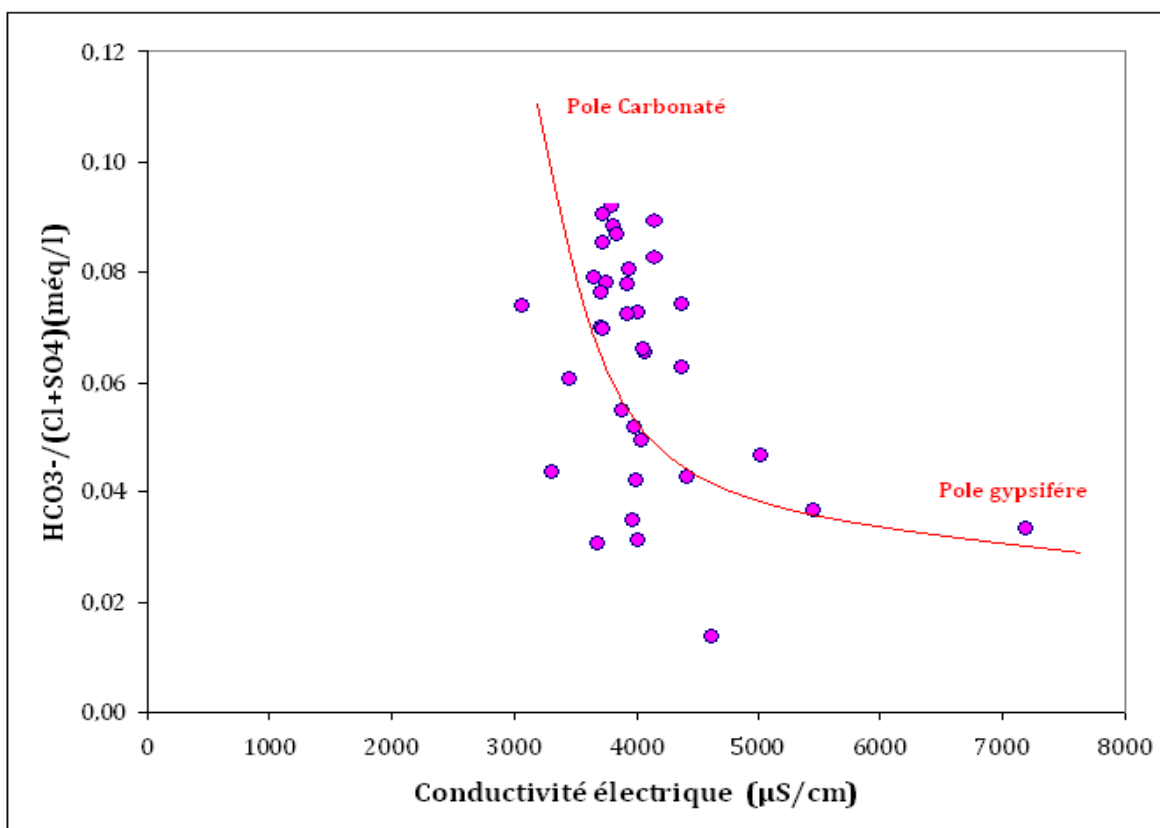


Figure (V-25): Diagramme  $\text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl})$  – Conductivité

### V.7. INDICE D'ÉCHANGE DE BASE (i.e.b) :

Au cours de leur trajet souterrain, les eaux entrent en contact avec différentes substances qui ont la propriété d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans les eaux.

Schoeller (1934) appelle l'indice d'échange de base, le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. Il est donné par la formule suivante :

$$i.e.b = \frac{r\text{Cl}^- - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r\text{Cl}^-} , \text{ les éléments sont exprimés en (még/l).}$$

- ✓ Si l'**i.e.b** est négatif, les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  de l'eau est échangée contre les ions  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  des Formations encaissantes (l'eau est d'origine sédimentaire).
- ✓ Si l'**i.e.b** est positif, les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de l'eau est remplacée par les ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$  des formations encaissantes (l'eau est d'origine cristalline).

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

L'interprétation des données de l'**i.e.b** calculé (Annexe ) a montré que 70 % des points d'eau ont (**i.e.b**) négatif, donc ces eaux sont d'origine sédimentaire et ayant subi un échange de base.

**IV.8. QUALITE CHIMIQUE DES EAUX :**

La qualité chimique des eaux a été déterminée en utilisant d'une part des normes fixées par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) et d'autre part à l'aide du degré hydrométrique D.H.T.

**IV.8.1. Potabilité des eaux (Norme et qualité) :****IV.8.1. 1. Selon l'O.M.S :**

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales qui traduisent les limites de potabilité (Tableau V.6). On distingue:

- ✓ Une concentration maximale acceptable à partir de la quelle une eau provoque une certaine réticence chez le consommateur ;
- ✓ Une concentration maximale admissible qui correspond à la quantité maximale de substance à tolérer et dont la teneur supérieure peut être dangereuse à la santé.

**Tableau (V-6): Normes de potabilité de l'O.M.S**

<b>Eléments chimiques</b>	<b>Concentration maximale acceptable (mg/l)</b>	<b>Concentration maximale admissible (mg/l)</b>
Calcium (mg/l)	75	200
Magnésium (mg/l)	50	150
Sodium (mg/l)	20	150
Potassium (mg/l)	10	12
Sulfates (mg/l)	200	400
Chlorures (mg/l)	200	600

D'après les critères on constate que les eaux des forages captant les nappes du Complexe Terminal sont hors normes. L'eau potable de bonne qualité chimique reste un rêve pour la région d'Oued-Souf à cause des teneurs très élevées en  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{K}^+$  aux normes maximales admissibles.



✓ Calcium :

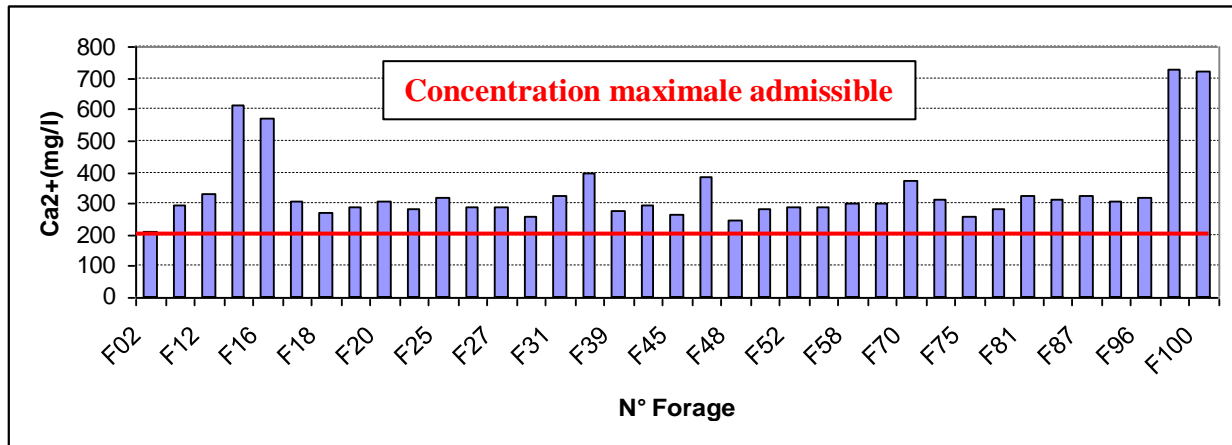


Figure (V-26): Concentration de calcium

✓ Magnésium :

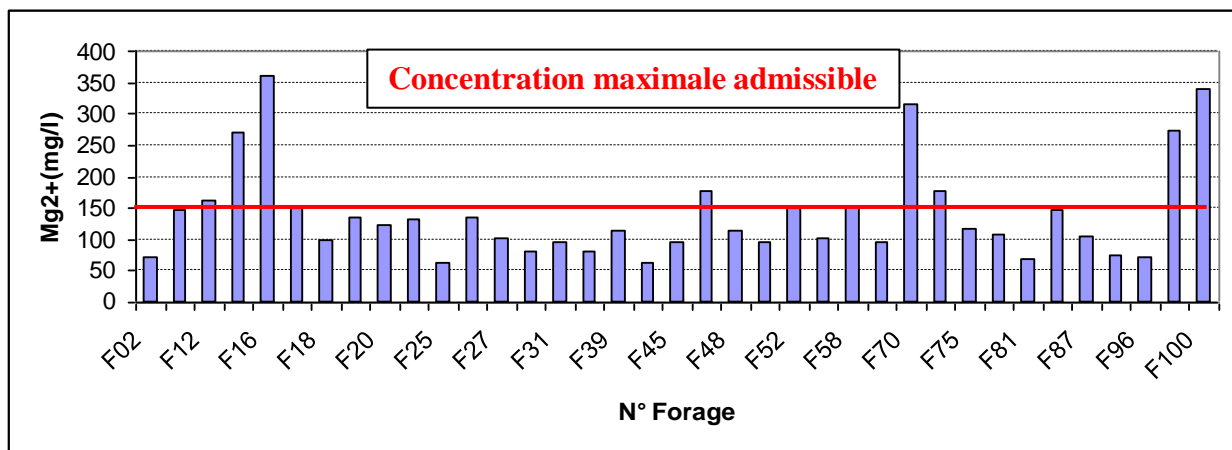


Figure (V-27): Concentration de magnésium

✓ Sodium :

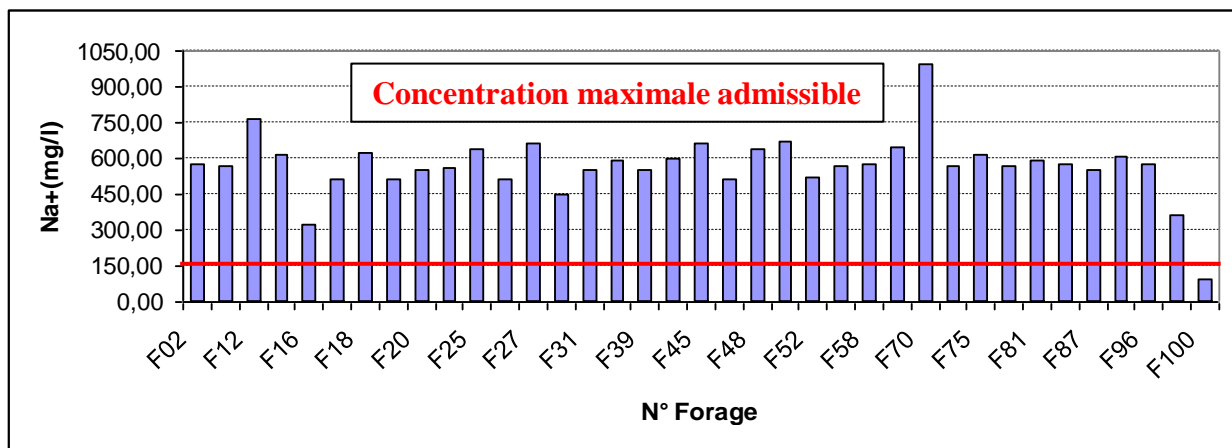


Figure (V-28): Concentration de Sodium

✓ Chlorures :

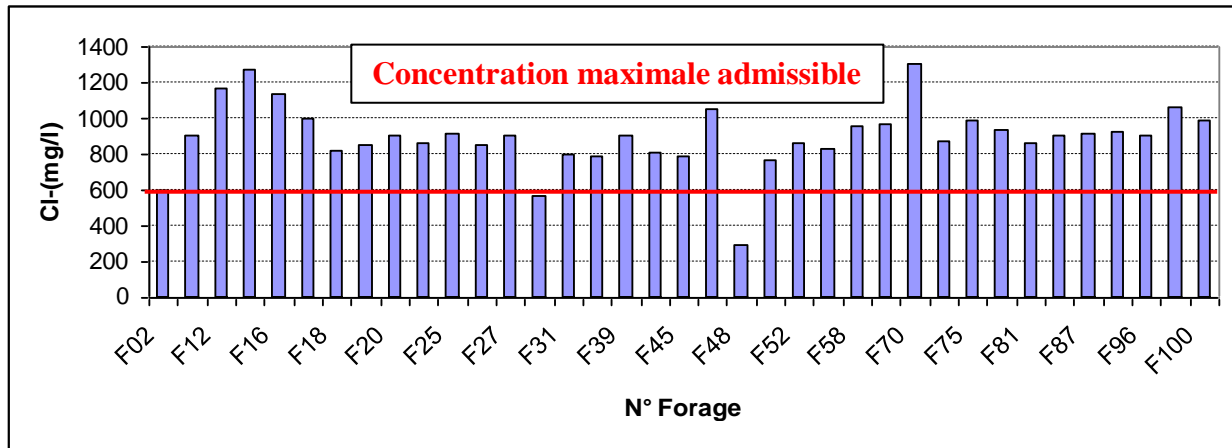


Figure (V-29): Concentration de Chlorures

✓ Sulfates :

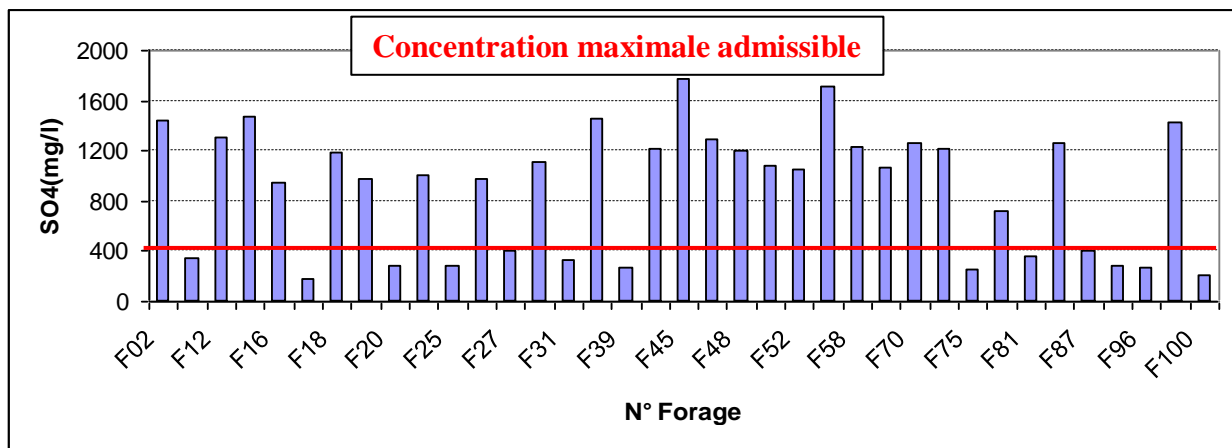


Figure (V-30): Concentration de Sulfates

✓ Potassium :

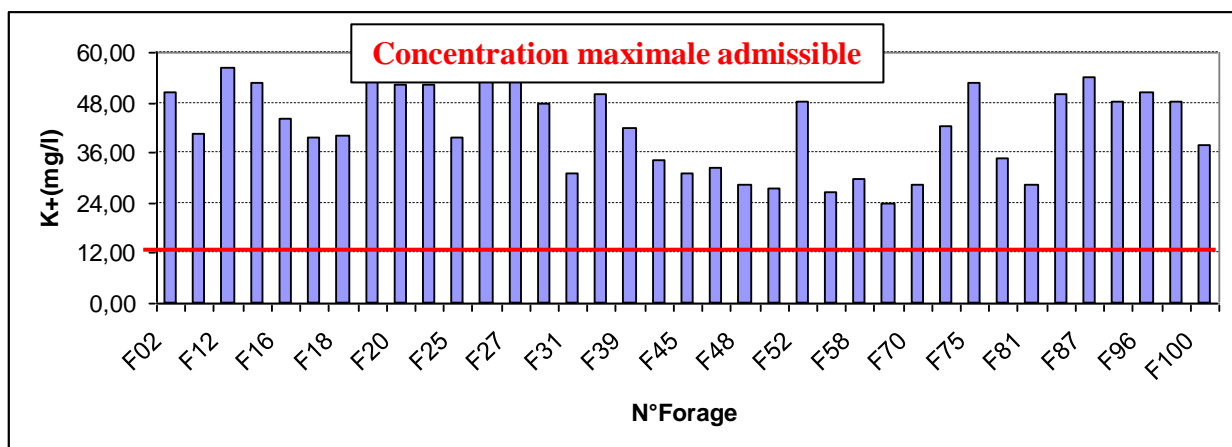


Figure (V-31): Concentration de Potassium

**V.8.1.2. Normes selon le degré hydrométrique total (D.H.T) :**

Le degré hydrométrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

Ce paramètre exprime des ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et des ions magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) contenue dans un litre d'eau. En règle générale, la quantité de calcium est 3 à 10 fois supérieure à celle du magnésium, et calculée selon la formule suivante :

$$\begin{cases} \text{DHT} = (r \text{ Ca}^{2+} + r \text{ Mg}^{2+}) & (\text{en méq/l}) \\ \text{DHT} = 5 (r \text{ Ca}^{2+} + r \text{ Mg}^{2+}) & (\text{en degré Française } ^\circ\text{F}) \end{cases}$$

**Tableau (V-7):** Dureté des eaux °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969

D.H.T (en °F)	0 - 7	07 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
% des points	0	0	0	0	100

On remarque pour tous les échantillons prélevés que le titre hydrotimétrique varie de 83 à 320°F (Annexe), ce qui indiquant des valeurs très élevées de dureté.

**V.8.2. Aptitude à l'irrigation :**

Par sa qualité chimique des eaux de la nappe du complexe terminal doit être destinée prioritairement à l'AEP, malheureusement au niveau de la vallée d'Oued - Souf. Les aquifères sont exploités anarchiquement pour l'irrigation. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela, nous allons utiliser plusieurs méthodes à fins de les classer.

**V.8.2.1. Salinité :**

Selon R. S. AYERS et D. W. WESTCOT (1988) ; quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Tableau V-8) montrent que :

- ✓ Si, la salinité exprimée par la conductivité en  $\mu\text{S} / \text{cm}$  est inférieure à  $700 \mu\text{S} / \text{cm}$ , il n'y aucune restriction pour l'irrigation.
- ✓ Si, la conductivité varie entre 700 et  $3000 \mu\text{S} / \text{cm}$ , la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne ;
- ✓ Et si, elle est supérieure à  $3000 \mu\text{S} / \text{cm}$ , la restriction pour l'irrigation est forte.

**Tableau (V-8) :** Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation :

<b>Restriction pour l'irrigation</b>	<b>CE en <math>\mu\text{S} / \text{cm}</math></b>	<b>Pourcentage des échantillons</b>
<b>Aucune</b>	< 700	0
<b>Légère à modéré</b>	700 - 3000	0
<b>Forte</b>	> 3000	100

L'examen du (Tableau V-8) montre que la majorité des points d'eau de la nappe du complexe terminal représentent une restriction pour l'irrigation est forte.

### V.8.2.2. Infiltration :

Les problèmes d'infiltration liés à la qualité de l'eau apparaissent lorsque la vitesse de pénétration de l'eau à la surface du sol. L'infiltration influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et elle diminue la de l'eau d'irrigation ou de la pluie est notablement réduite provoquant une stagnation qualité d'eau mise en réserve tandis que la salinité diminue la disponibilité de l'eau en réserve.

#### V.8.2.2.1. Eaux peu salées :

Les eaux peu salées dont la conductivité électrique est inférieure à 200  $\mu\text{S} / \text{cm}$  ont une forte tendance à mobiliser rapidement le calcium du sol, ce qui entraîne plus la dispersion des particules (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988) et l'obturation des espaces poreux.

La valeur minimale de conductivité des eaux du complexe terminal est supérieure à 200  $\mu\text{S} / \text{cm}$ , donc ce problème ne se pose pas.

#### V.8.2.2.2. forte teneur en sodium :

L'abondance du sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium (R.S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988). Dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque est déterminé à de la valeur du sodium absorbable « Sodium Absorption Ration » (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau.

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}, \text{ les éléments sont exprimés en (még/l).}$$

### V.8.2.2.2.1. Classification en fonction du sodium absorbé par le sol «SAR» RICHARD

Pour classer les eaux d'irrigation, il est nécessaire d'évaluer la concentration en ions  $\text{Na}^+$  dans le sol. Cet élément remplace dans le complexe absorbent le calcium ou le magnésium. Richards, établi un diagramme de cinq classes, basé sur la minéralisation totale et la relation d'absorption du sodium donnée par l'expression précédente.

Le tableau (V-9), récapitule les résultats obtenus après interprétation des diagrammes de Richards. (Figure V-27).

**Tableau (V-9):** Degré d'aptitude à l'irrigation selon SAR.

Classes		% des points d'eau	
<b>Admissible</b>	<b>S1C4</b>	00	00
<b>Médiocre</b>	<b>S2C4</b>	21	31
	<b>S2C5</b>	10	
<b>Mauvaise</b>	<b>S3C4</b>	56	69
	<b>S3C5</b>	13	

### V.8.2.3. de de la toxicité des végétaux:

La toxicité se manifeste dans les végétaux suite à l'absorption et à l'accumulation de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation comme le cas du sodium et ce lui du chlore. Ces substances toxiques provoquent des dégâts au niveau de la récolte.

#### V.8.2.3.1. Sodium :

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol. Les modifications qui peuvent apparaître dans le sol sont fonction des fréquences d'irrigation (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988).

Les cultures absorbent le sodium en même que l'eau et celui-ci se concentre dans les feuilles tan disque l'eau s'échappe par transpiration, il peut en résulter une toxicité si l'accumulation de sodium atteint une concentration dépassant la tolérance de la culture.

Les symptômes caractéristiques sont les brûlures et le roussissement du feuillage ainsi q'une nécrose des tissues situés sur le bord des feuilles. Souvent la toxicité par le sodium se modifié et s'atténue en présence du calcium.

L'interprétation des analyses selon les directives du (Tableau V-10) permet de dire que tous les points d'eau de la nappe du complexe terminal présentent une restriction forte.

**V.8.3.1.1. Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de WILCOX (1948):**

Le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturé en sodium, c'est pourquoi on utilise une classification basée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, qui est définie par la relation suivante:

$$\%Na^+ = \left[ \frac{rNa^+}{r(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \right] \times 100, \text{ les éléments sont exprimés en (méq/l).}$$

**Tableau (V-10):** Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox (1948)

Classes		% des points d'eau	
Admissible	S1 C3	00	00
	S2 C3	00	
Médiocre	S1 C4	00	40
	S2 C4	40	
Mauvaise	S3 C4	60	60

On constate donc que les deux méthodes semblent donner globalement les mêmes résultats, alors les deux montrent que la majorité des points d'eau caractérisée par des eaux de mauvaise à médiocre qualité parce que l'eau est fortement minéralisée. Donc ces eaux représentent un danger pour la plante et pour le sol.

**V.8.2.3.2. Chlore :**

Le chlore est un ion qui n'est pas absorbé par les sels mais se déplace facilement avec l'eau du sol. Il est absorbé par les racines et s'accumule dans les feuilles, comme le sodium (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988).les symptômes se manifestent par des brûlures du feuillage. Pour évaluer le degré de toxicité du chlore, on utilise le (Tableau V-10), Ce tableau montre que les teneurs en chlore qui sont supérieur à 10 méq/l représentent 100 % des points d'eau présentent une restriction forte.

**Tableau (V-11):** Directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation

(Toxicité spécifique de certains ions)

Restriction pour l'irrigation	Sodium (méq/l)	% des points d'eau	Chlore (méq/l)	% des points d'eau
Aucune	< 3	00	< 4	00
Légère a modérée	3 à 9	00	4 à 10	00
Forte	>9	100	>10	100

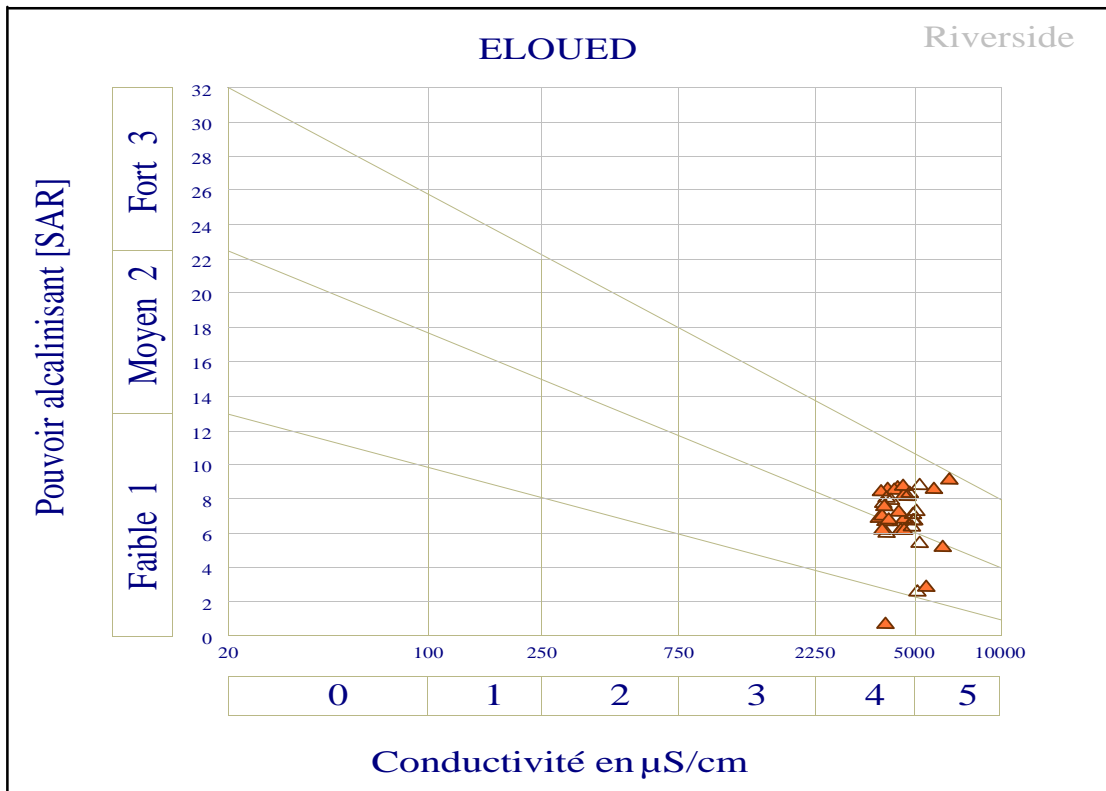


Figure (V-32) : Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation (Selon la méthode de Richards 1954)

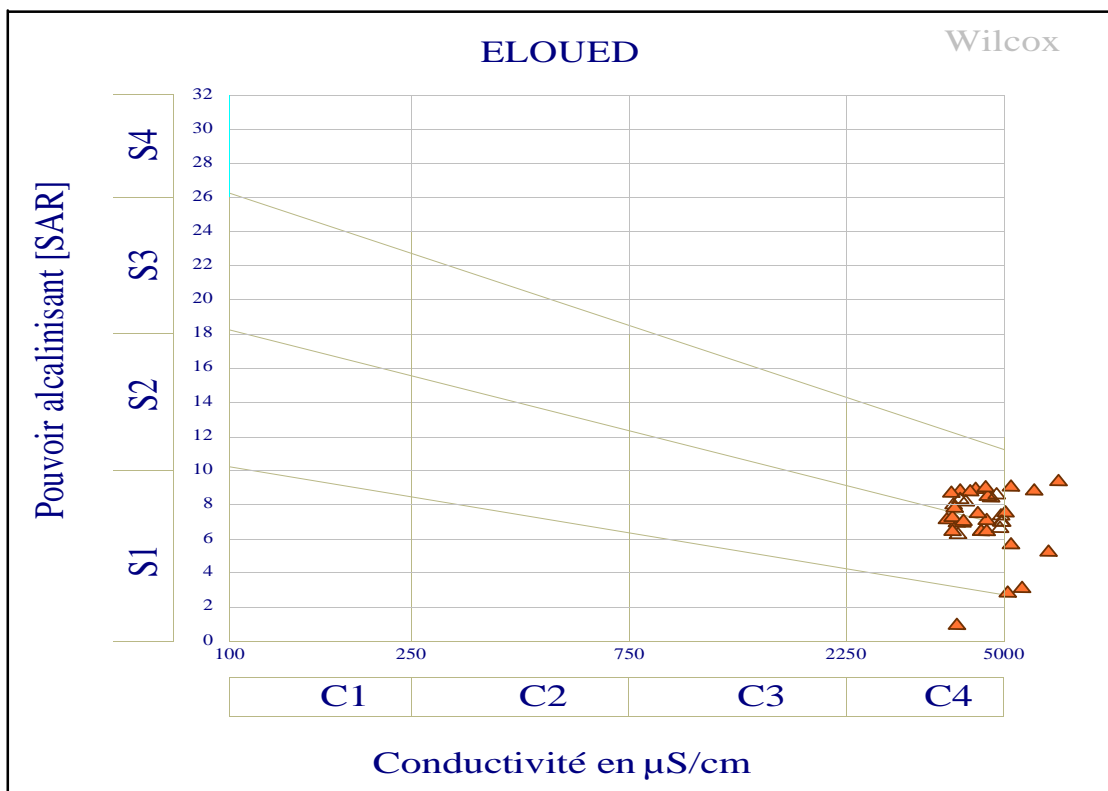


Figure (V-33): Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation (Selon la méthode de Wilcox (1948))

**V.9. ANALYSE STATISTIQUE (APPLICATION DE L'ACP):**

L'ACP est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum d'informations contenu dans un tableau de données. Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus » (forages, puits, sources,...) sur lesquels sont mesurées des « variables » quantitatives (conductivité électrique, , teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{NO}_3^-$ ) disposées en colonnes. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières.

**V.9.1. Principe:**

Dans un tableau comportant (N) variables quantitatives, les individus peuvent être représentés dans un espace à (N) « dimensions ». Pour des raisons de visualisation, les espaces retenus sont à une dimension (droites) ou, et se sera le cas le plus fréquent, à deux dimensions (plans).

Les droites et les issus d'une ACP, ne sont pas réalisés avec les variables initiales mais avec des « indices synthétiques » obtenus par combinaisons linéaires des variables initiales. Parmi tous les indices possibles, l'ACP recherche d'abord celui qui permet de voir au mieux les individus c'est-à-dire pour lequel la variance des individus est maximale. Cet indice est appelé première composante principale, ou encore premier axe principal.

Une certaine proportion de la variation totale des individus est expliquée par cette composante principale. Ensuite une deuxième composante est recherchée, cette deuxième composante principale fournit la plus grande information possible complémentaire de la première. Le processus se déroule jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale. Si la variable ou un individu joue un rôle particulier, on l'introduit dans l'ACP «variable à expliquer» ou « variable supplémentaire » (ne participe pas à la construction des axes).

**V.9.2. Résultats et interprétations :**

Pour observer les individus, on construit les plans à partir des composantes principales les plus importantes est le plan engendré par les axes 1 et 2, car par définition c'est le plan sur lequel le maximum d'information est visible. On examinera d'autres plans, selon la part d'information prise en compte par ces derniers.

Les résultats de l'ACP sont influencés par l'ordre de grandeur des variables. Ainsi pour y remédier à cet inconvénient, il est recommandé de donner le même poids aux différentes variables en les réduisant.



On réalise ainsi l'ACP soit sur des données centrées (variables de même nature) à partir de la « matrice des variances-covariances » entre variables, soit sur des données centrées réduites c'est-à-dire des variables de différentes natures « matrice de corrélation ».

Après l'élaboration des matrices des corrélations et de variances-covariances, il s'ensuit une diagonalisation basée sur :

- ✓ Une matrice de « vecteurs propres » qui contiennent des combinaisons linéaires des (N) variables initiales actives.
- ✓ Une matrice de « valeurs propres » qui représentent les variances des individus sur les axes principaux correspondants.

Pour un axe donné, les variables qui ont les plus forts coefficients (en valeur absolue) sont celles qui contribuent le plus à la formation de cet axe. Une variable est d'autant mieux représentée sur le plan qu'elle est proche du cercle. Le choix du nombre de composantes est exprimé en fonction des « valeurs propres » ou « les pourcentages de variation expliqués par chaque composante principale ».

Sur chaque plan retenu, on regarde :

- ✓ La structure des variables à partir de leurs corrélations avec les axes principaux, représentée par « des cercles de corrélation ».
- ✓ La répartition des individus, à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux et d'indices.

### V.9.3. Application de l'ACP aux données chimiques des eaux de la nappe CT :

L'analyse effectuée est une ACP centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau à 09 variables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^{2-}$  et Conductivité) et à 37 échantillons.

L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel (XLSTAT).

#### V.9.3.1. Statistique descriptive des différentes variables :

On remarque une première typologie des paramètres chimiques (Tableau V-12) selon leurs coefficients de variation :

- ✓ Faible coefficient de variation :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , conductivité électrique et  $\text{HCO}_3^-$  ;
- ✓ Fort coefficient de variation :  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , et  $\text{NO}_3^{3-}$  ;

Tableau (V-12): Paramètres statistiques des éléments chimiques

Eléments chimiques	Valeur minimale (mg/l)	Valeur maximale (mg/l)	Moyenne arithmétique	Ecart type	Coefficient de variation
Ca <sup>2+</sup>	10.600	36.199	16.933	5.965	0.352
Mg <sup>2+</sup>	5.201	29.686	11.523	6.317	<b>0.548</b>
Na <sup>+</sup>	4.160	43.230	24.782	5.772	0.232
K <sup>+</sup>	0.6122	1.444	1.080	0.255	0.236
Cl <sup>-</sup>	8.364	36.869	25.342	5.067	0.199
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3.908	36.816	18.751	10.177	<b>0.542</b>
HCO <sup>3-</sup>	0.820	3.701	2.622	529	0.201
NO <sup>3-</sup>	0.067	4.591	1.475	0.821	<b>0.556</b>
Conductivité	3070	7190	4061	679.820	0.167

### V.9.3.2. Matrice de corrélation :

Le tableau (V-13), présente les différentes corrélations entre les variables deux à deux. Le coefficient de corrélation significatif d'après Mangin est de :  $r = 0.684$  pour 25 couples de données (Athamena 2006) (Voire Annexe), ce qui permet de dégager les associations suivantes:

Tableau (V-13): Matrice de corrélation des paramètres chimiques

Variables	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cduc
Ca <sup>2+</sup>	1								
Mg <sup>2+</sup>	<b><u>0,795</u></b>	1							
Na <sup>+</sup>	<b><u>-0,546</u></b>	-0,331	1						
K <sup>+</sup>	0,086	0,038	-0,166	1					
Cl	<b><u>0,522</u></b>	<b><u>0,616</u></b>	0,091	0,132	1				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,052	0,134	0,217	-0,157	-0,069	1			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,476	-0,305	0,081	<b><u>0,441</u></b>	-0,280	-0,227	1		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,359	0,275	0,172	0,143	<b><u>0,424</u></b>	0,328	-0,277	1	
Conductivité	0,319	<b><u>0,569</u></b>	<b><u>0,519</u></b>	0,027	<b><u>0,640</u></b>	0,281	-0,191	<b><u>0,456</u></b>	1

Les fortes corrélations correspondent aux couples  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}/Cl^-$  et  $Cl^- /$  Conductivité électrique, éléments probablement salifères. Si on considère les corrélations des autres paramètres, on constate que les valeurs un peu moins fortes correspondent aux couples  $Ca^{2+}/Cl^-$ ,  $Na^+$  et  $Mg^{2+} /$  Conductivité électrique.

D'autres corrélations moins significatives sont observées notamment  $K^+ / HCO_3^-$  et  $Cl^- / NO_3^-$  liés également à la formation salifère.

### V.9.3.3. Etude des variables:

#### V.9.3.3.1. Projection des variables :

L'analyse a été poussée jusqu'à trois (03) facteurs. A ce stade seulement 73.82% de la variance totale ont pu être exprimées (Tableau V.14). Le faible % de la variance exprimée par le premier facteur (36.53%), montre qu'il n'existe pas de structure forte dans l'échantillonnage réalisé. Cela prouve que de nombreux facteurs interviennent sur la structure des échantillons, facteurs qui ne sont pas liés les uns aux autres. Ceci s'est répercuté sur la matrice de corrélation où on a eu une corrélation significative uniquement entre  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  et  $Na^+$ ,  $Cl^-$ . Il faut signaler que 25 individus ont été introduits avec 09 variables.

L'analyse du plan factoriel « F1- F2 » (Figure V.29 et Tableau V.14) où plus de 57.50% de la variance totale sont exprimées, le facteur F1 est fortement déterminé positivement par le  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$  et la conductivité électrique d'une façon moindre par le  $NO_3^-$  donc ce facteur est déterminé positivement par les évaporites. Ce qui prouve l'origine de la salinité des eaux de la nappe du complexe terminal.

Le facteur F2 est fortement déterminé positivement par le  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$ , et la conductivité électrique et fortement déterminé négativement par le  $Ca^{2+}$  qui proviennent de la dissolution des formations carbonatées et la dissolution des formations gypsifères. Sur le plan factoriel « F1- F3 » (Figure V.30), le facteur F3 qui exprime 13.41% de la variance totale est fortement déterminé positivement par  $K^+$ , et  $HCO_3^-$  ces derniers ont une origine carbonatée.

**Tableau (V-14):** Pourcentage de variance exprimée

Axes	F1	F2	F3
Valeurs propres	3,288	1,888	1,468
% variance exprimée	36,531	20,979	16,311
% variance cumulée	36,531	57,509	73,820

Tableau (V-15): Corrélation facteurs variables

Variables	F1	F2	F3
Ca <sup>2+</sup>	<b><u>0.810</u></b>	<b><u>-0.507</u></b>	-0,101
Mg <sup>2+</sup>	<b><u>0.848</u></b>	-0,294	0,030
Na <sup>+</sup>	-0,067	<b><u>0.946</u></b>	0,159
K <sup>+</sup>	0,020	-0,257	<b><u>0.824</u></b>
Cl <sup>-</sup>	<b><u>0.789</u></b>	0,038	0,302
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,269	<b><u>0.477</u></b>	-0,333
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,540	-0,009	<b><u>0.683</u></b>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b><u>0.621</u></b>	0,306	0,134
Conductivité	<b><u>0.732</u></b>	<b><u>0.512</u></b>	0,256

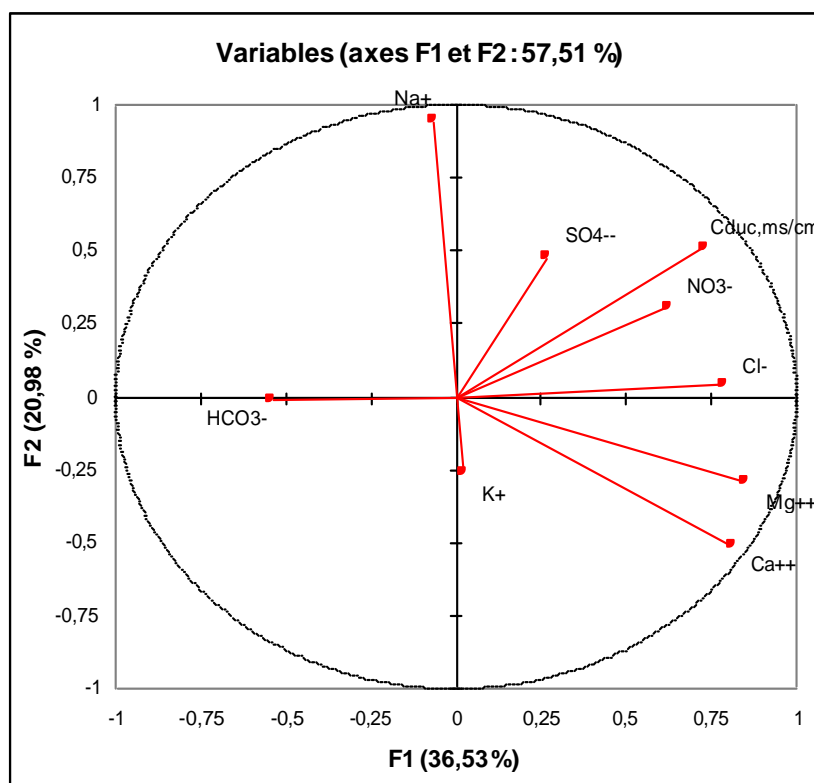


Figure (V-34): Cercle des corrélations, plan F1/F2

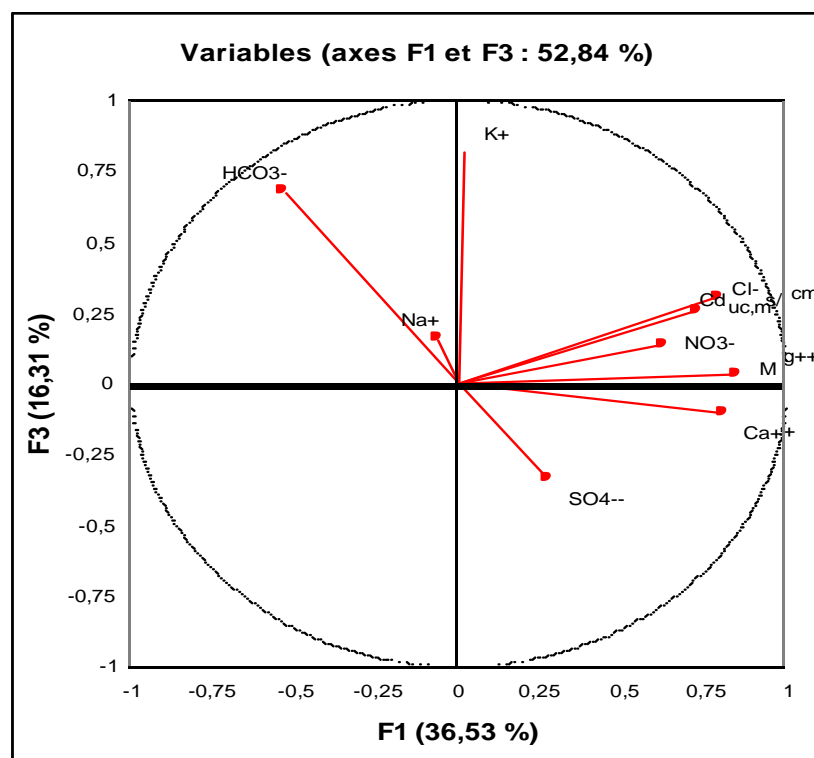


Figure (V-35): Cercle des corrélations, plan F1/F3

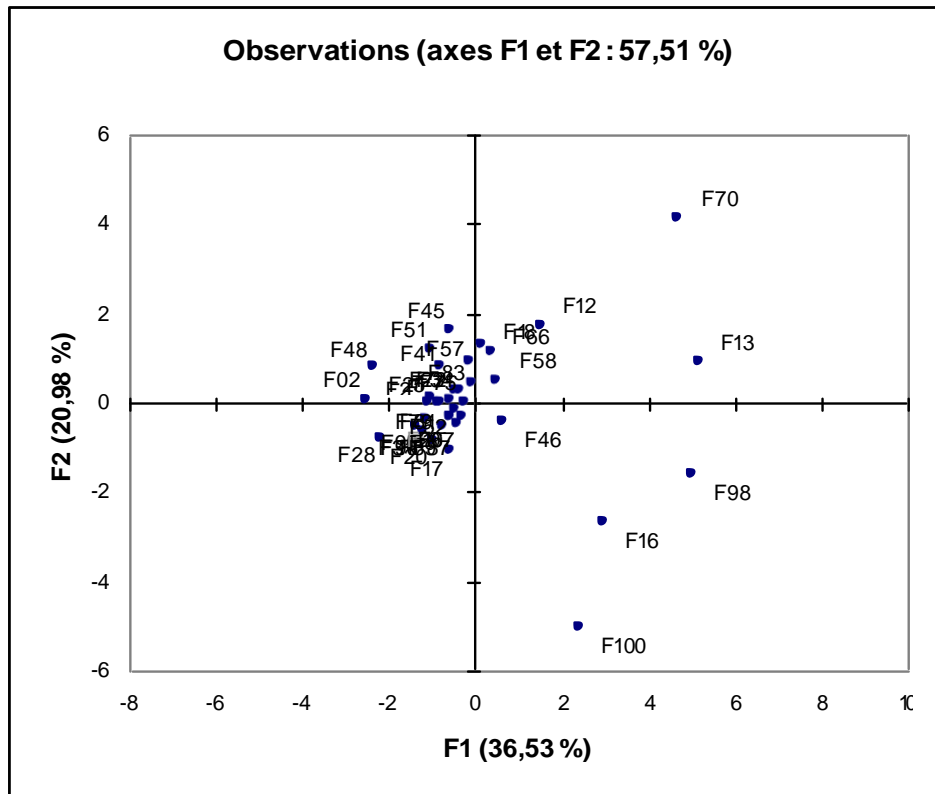


Figure (V-36): Représentation des individus (forages), plan F1/F2

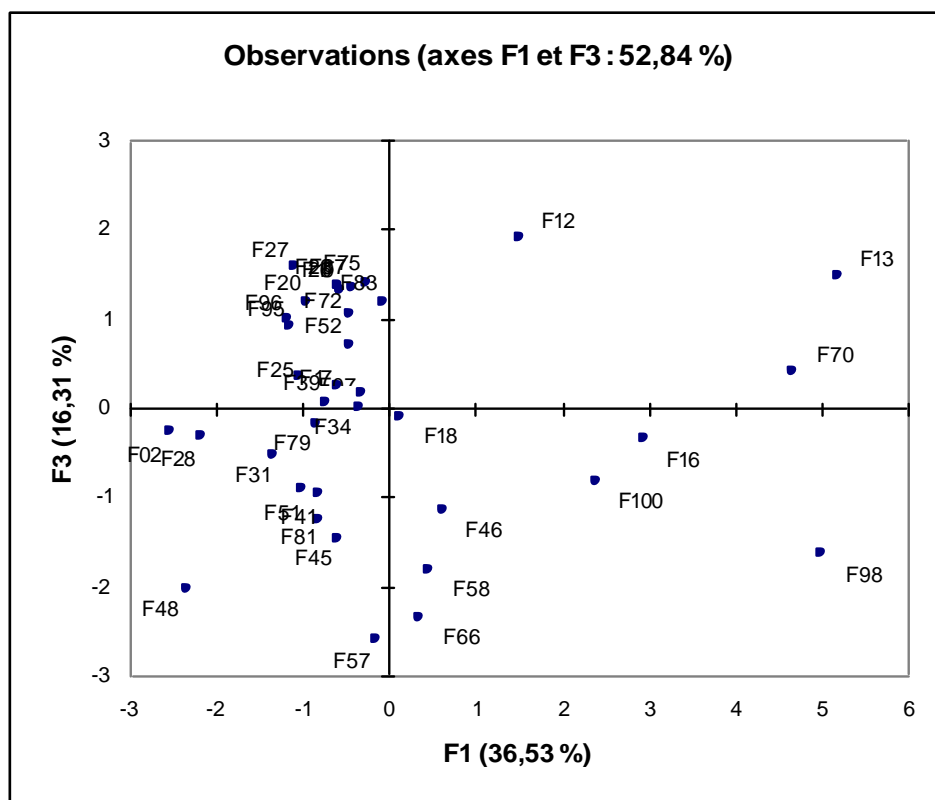


Figure (V-37): Représentation des individus (forages), plan F1/F3

**V.10. CONCLUSION:**

L'interprétation des diagrammes de PIPER, SCHOELLER\_BERKALOFF et STABLER a montré que les eaux de la nappe du complexe terminal sont caractérisées par une dominance des faciès suivants :

- ⊕ Chloruré sodique
- ⊕ Chloruré calcique
- ⊕ Chloruré magnésienne
- ⊕ Sulfaté magnésien

La dominance de ces faciès est liée d'une part à la géologie locale de la région et d'autre part à la situation grave de quelques forages du Complexe Terminal qui présentent des perforations au niveau de tubages, ceux-ci favorisent la communication entre les nappes en particulier avec la nappe phréatique qui est trop minéralisée.

La cartographie hydrochimique déclare une augmentation graduelle de la minéralisation vers le nord qui est conformément avec le sens d'écoulement. Et désigne la commune de Hassi Khalifa comme une zone trop minéralisée.

Sur le plan de la qualité chimique et la potabilité, les eaux de la nappe du complexe terminal sont trop minéralisées et extrêmement dures, ceux qui exigent des préventions avant l'utilisation pour l'irrigation où il présente parfois des dangers d'alcalinisation de sol. L'étude statistique (A.C.P) nous a confirmé le caractère très minéralisant. La potabilité reste loin aux normes O.M.S, elle est classée au de-là du mauvais. Et à cause de cette eau désagréable, la population de la vallée d'Oued -Souf préfère d'acheter l'eau provenant de flotte de camions citerne des Wilaya voisines (Biskra, Tebessa).

On déduit que dans cette région il n'y a pas un problème de quantité mais plutôt de qualité, pour cela il faut exiger des rigoureux critères pour améliorer la qualité chimique de l'eau et garantir la potabilité de l'eau dans les normes internationales, avant de la mobiliser aux consommateurs particulièrement humains.

---

---

# CONCLUSION GÉNÉRALE

---

---



## CONCLUSION GÉNÉRALE

La vallée de Souf est une unité de ressource en eau située au Sud-Est algérien, occupe une superficie de 11738 km<sup>2</sup>, représente 18 communes administratives et englobe un nombre de population de 486170 habitants. Le relief d'El-oued est caractérisé par trois principales formes: une région sableuse, une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression. Du point de vue topographique l'altitude diminue du Sud vers le Nord, et de l'Ouest vers l'Est pour atteindre des valeurs négatives au niveau des chotts.

Le climat de la région d'El-Oued est de type saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux, la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 28,4°C. Les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 71.16 mm. Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration.

La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. la description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau, elle est représentée par des terrains allant de Crétacé au Quaternaire. La lithologie des formations est détritique et évaporitique pour la Quaternaire, détritique, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé supérieure.

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal et nappe de continentale intercalaire), le réservoir de la nappe de complexe terminal est constituée de formations très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En effet, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables.. D'une manière générale La profondeur moyenne de cette nappe du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ, avec une réserve estimée à  $200 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

L'examen de la carte piézométrique montre que le sens d'écoulement général des eaux de la nappe du complexe terminal est Sud-Ouest vers le Nord-Est. L'interprétation des essais de pompage par la méthode graphique nous permet de définir les différents paramètres hydrodynamiques.

L'hydrochimie a porté sur les aspects qualitatifs des eaux de la région. Dans notre travail, on s'est intéressé aux eaux de la nappe CT .On a commence par une étude de la qualité des eaux destinées à l'AEP, alors :

- ❖ L'eau de la nappe du complexe terminal montre qu'elle est non potable pour la consommation humaine, cette eau est très dure et trop minéralisée.
- ❖ La classification des eaux selon Piper montre la dominance de faciès Chlorurée sodique et Sulfatée sodique. Cette dominance de faciès est liée au contact eau roche selon la nature géologique de la région, puisque l'interaction entre l'eau et la roche provoque une dissolution.
- ❖ Par le biais de l'analyse en composante principale, nous avons pu démontrer que les eaux de la nappe CT, présentent la même composition chimique, elles restent influencées par la lithologie locale.

L'analyse de l'eau destinée à l'agriculture, montre que:

- ❖ Après réalisation des diagrammes de Richards et calcul du SAR, nous avons pu remarquer que les eaux de la nappe CT sont des eaux à qualité chimique très mauvaise pour l'irrigation.

En conclusion, quel que soit la destination prévue des eaux de la nappe du Complexe Terminal, ces eaux demandent à être traitées (station de traitement) avant usage pour l'AEP.

Concernant l'irrigation, ces eaux sont très minéralisées, et peuvent causer une forte salinisation des terres agricoles. L'utilisation de cette eau reste réservée uniquement pour quelques plantes résistantes au sel tel que la luzerne, le blé, l'orge et les palmiers.

---

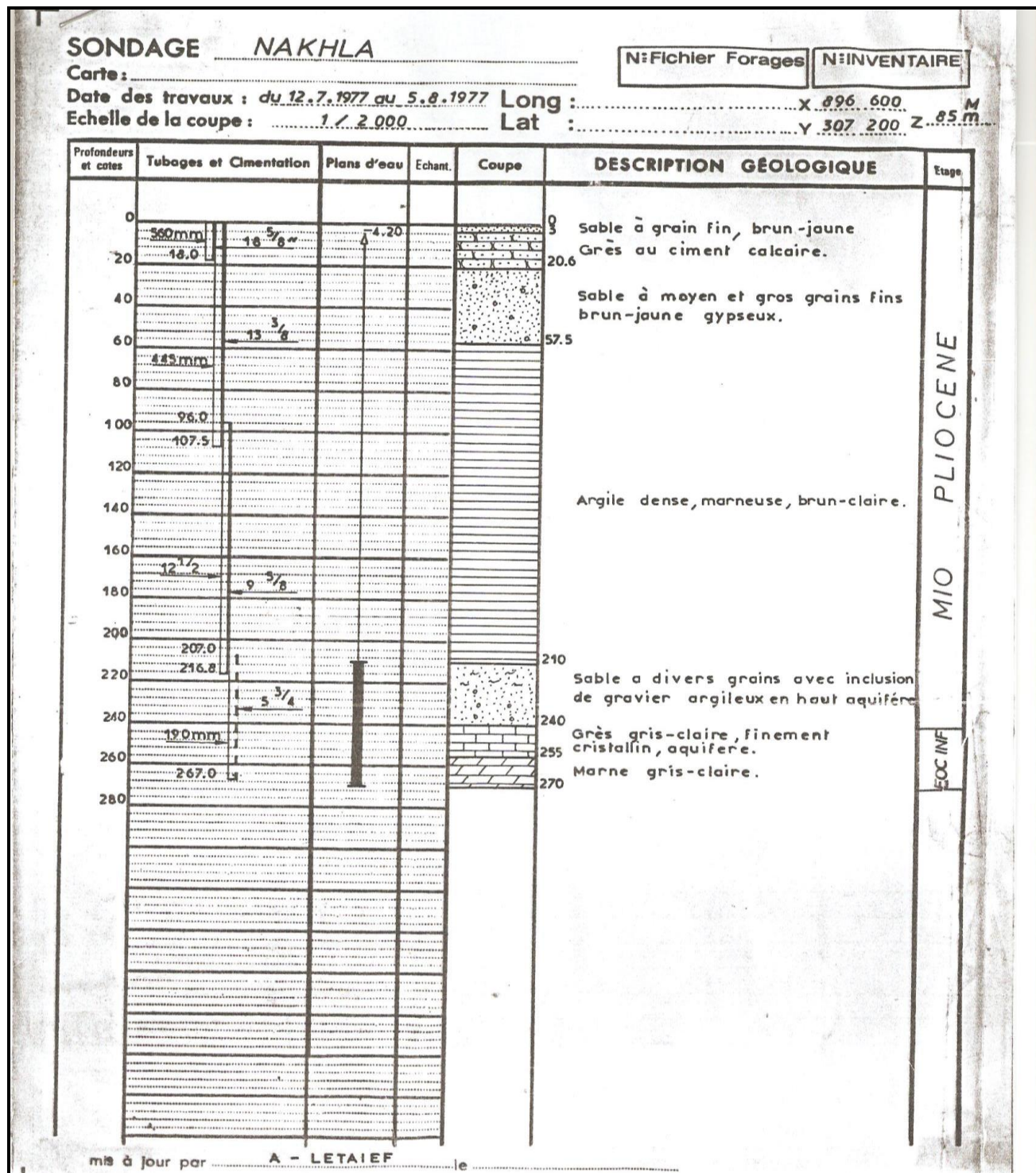
---

# *ANNEXES*

---

---

Annexe N°01: Les coupes géologiques lithostratigraphique





**SONDAGE EL-OGLA EL-OUED**

Carte: EL OUED 1/100.000 N°Q-11

N°Fichier Forages

N°INVENTAIRE

Date des travaux: DE 16.8.82 A V 31.10.82 Long: ..... X 895.200

Echelle de la coupe: 1/1500 Lat: ..... Y 302.200 Z 850

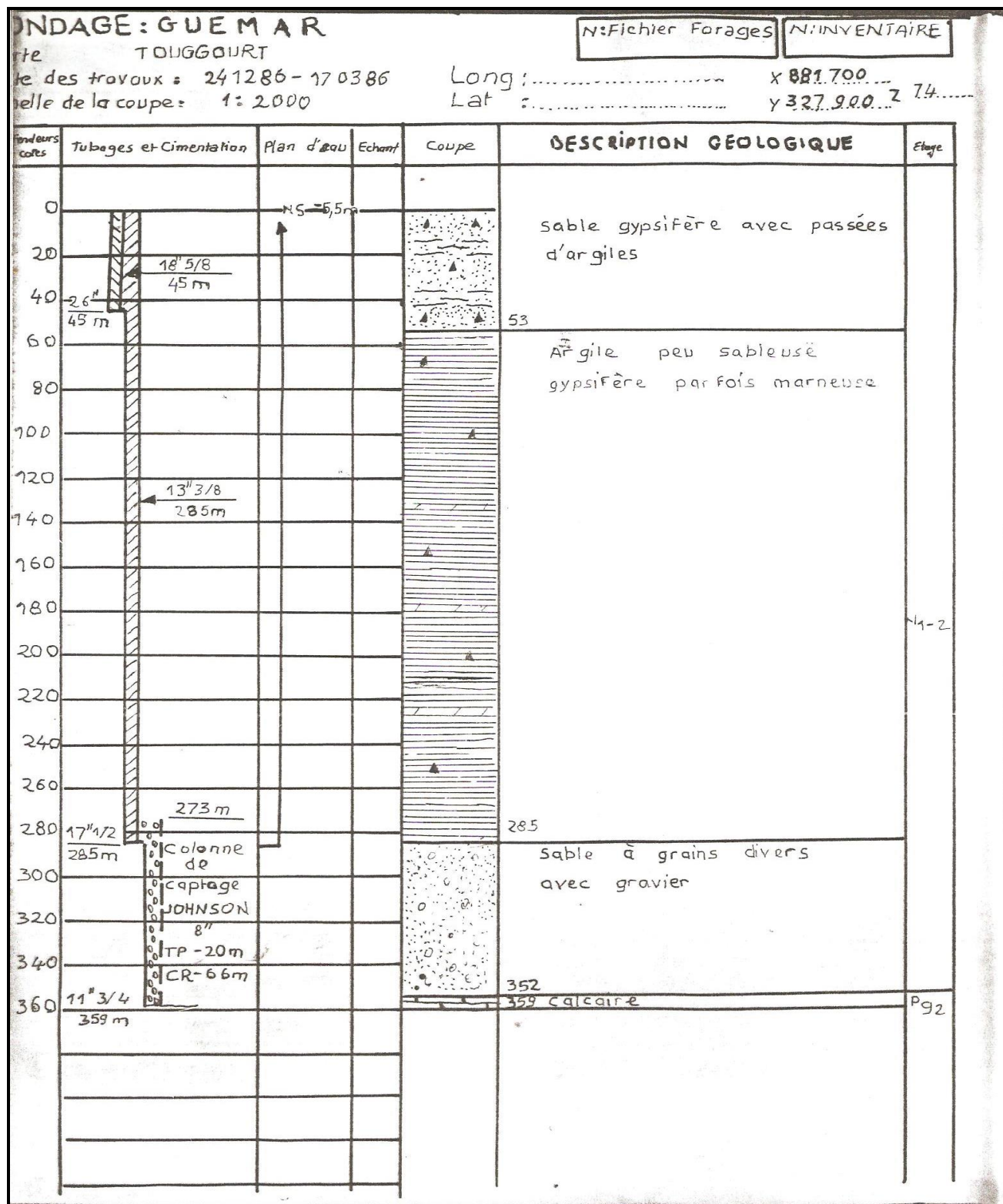
Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	Etage
0					0 sables Moyen avec gypse	
15	24x17/8				12	
30					25 Argiles brune avec gypse	
45					51 calcaires sableux	
60						
75	17/6x13/4					
90						
105					Argiles Plastique avec gypse	
120						
135						
150	15/4					
165					155 Sables Moyen	
180					170 Argiles Plastique	
195					193	
210	16/4x8					
225	crepin INOX				225 Sables moyen	
240					238 calcaires sableux	
255					245 Marne Blanche avec calcaires	
270					260 calcaire fissuré	
285					274 Marne Avec Calcaire	
300					290 Marne	
315						
330					326	

mis à jour par ..... le .....

N







## Annexe N°02: Les essais définitifs du pompage du forage

FORAGE : Soualah PALIER : Constant DEBIT : Q (l/s) = 35		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd = niveau dynamique (m)
H	0	30.00
	1	36.74
	2	38.30
	3	38.90
	5	39.32
	7	39.72
	9	40.04
	11	40.18
	13	40.29
	15	40.40
	20	40.51
	25	40.64
	30	40.75
	40	40.85
	50	40.95
H	60	41.04
	75	41.12
	90	41.20
	105	41.27
H	120	41.34
	135	41.40
	150	41.45
	165	41.50
H	180	41.53
	195	41.55
	210	41.61
	225	41.65
H	240	41.71
	270	41.76
H	300	41.80

FORAGE : Soualah SUIVE DEBIT : Q (l/s) = 35		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd = niveau dynamique (m)
	330	41.88
H	360	41.92
	390	41.95
H	420	41.98
	450	42.02
H	480	42.06
H	540	42.09
H	600	42.11
H	660	42.13
H	720	42.16
H	780	42.18
H	840	42.20
H	900	42.22
H	960	42.23
H	1020	42.26
H	1080	42.27
H	1140	42.27
H	1200	42.28
H	1260	42.29
H	1320	42.29
H	1440	42.30
H	1560	42.30
H	1680	42.30
H	1800	42.30
H	1920	42.30
H	2040	42.30
H	2160	42.30
H	2280	42.30
H	2400	42.30
H	2520	42.30



FORAGE : Hammadine		
PALIER : Constant		
DEBIT : Q (l/s) = 37		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd = niveau dynamique (m)
H	0	34.35
	1	37.84
	2	38.60
	3	39.50
	5	39.70
	7	39.70
	9	39.71
	11	39.71
	13	39.72
	15	39.75
	20	39.75
	25	39.77
	30	39.80
	40	39.85
	50	39.90
H	60	40.10
	75	40.12
	90	40.20
	105	40.20
H	120	40.24
	135	40.24
	150	40.25
	165	40.25
H	180	40.25
	195	40.25
	210	40.25
	225	40.25
H	240	40.25
	270	40.32
H	300	40.40

FORAGE : Hammadine		
SUITE		
DEBIT : Q (l/s) = 37		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd = niveau dynamique (m)
	330	40.40
H	360	40.40
	390	40.40
H	420	40.40
	450	40.40
H	480	40.40
H	540	40.45
H	600	40.45
H	660	40.45
H	720	40.45
H	780	40.45
H	840	40.45
H	900	40.45
H	960	40.45
H	1020	40.45
H	1080	40.45
H	1140	40.45
H	1200	40.45
H	1260	40.45
H	1320	40.45
H	1440	40.45
H	1560	40.45
H	1680	40.45
H	1800	40.45
H	1920	40.50
H	2040	40.60
H	2160	40.60
H	2280	40.60
H	2400	40.60
H	2520	40.60

*Annexe N°04 : Valeurs critiques du coefficient de corrélation selon A .Mangin*

Individus	Corrélation critique		Individus	Corrélation critique	
	Au seuil de 5%	Au seuil de 1%		Au seuil de 5%	Au seuil de 1%
5	0,992	0,997	<b>25</b>	<b>0,684</b>	0,750
6	0,979	0,991	30	0,638	0,705
7	0,961	0,981	35	0,600	0,667
8	0,943	0,969	40	0,568	0,643
9	0,926	0,955	45	0,541	0,606
10	0,903	0,941	50	0,518	0,580
11	0,883	0,926	60	0,477	0,539
12	0,864	0,912	70	0,445	0,505
13	0,846	0,889	80	0,419	0,476
14	0,828	0,883	90	0,397	0,449
15	0,811	0,869	100	0,378	0,429
16	0,797	0,854	125	0,341	0,391
17	0,782	0,843	150	0,313	0,359
18	0,766	0,828	200	0,272	0,314
19	0,754	0,818	250	0,244	0,290
20	0,741	0,804	300	0,223	0,258

*Annexe N°05 : Photo comment prélevé les échantillons*



## Annexe N°06 : Résultats des paramètres hydrochimiques (Dectembre 2014)

N° Forage	Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>	
	mg\l	még\l	mg\l	még\l	mg\l	még\l	mg\l	még\l
F02	212,42	10,60	72,91	6,00	575,20	25,02	50,34	1,29
F07	296,59	14,80	148,26	12,20	569,30	24,76	40,81	1,04
F12	330,00	16,47	163,80	13,48	765,30	33,29	56,40	1,44
F13	613,22	30,60	269,79	22,20	615,20	26,76	52,64	1,35
F16	569,13	28,40	360,70	29,69	320,14	13,93	44,42	1,14
F17	308,61	15,40	150,30	12,37	515,2	22,41	39,58	1,01
F18	272,54	13,60	99,65	8,20	620,3	26,98	40,16	1,03
F19	290,00	14,47	136,40	11,23	511,30	22,24	54,2	1,39
F20	304,60	15,20	122,55	10,09	550,10	23,93	52,24	1,34
F23	285,00	14,22	133,15	10,96	560,11	24,36	52,30	1,34
F25	316,63	15,80	63,19	5,20	641,30	27,90	39,66	1,02
F26	290,00	14,47	136,40	11,23	511,3	22,24	54,2	1,39
F27	288,57	14,40	102,30	8,42	662,8	28,83	53,54	1,37
F28	260,52	13,00	82,64	6,80	450,21	19,58	47,76	1,22
F31	324,64	16,20	94,78	7,80	549,62	23,91	31,32	0,80
F34	396,76	19,80	80,60	6,63	595,60	25,91	50,24	1,29
F39	276,55	13,80	114,23	9,40	550,20	23,93	42,02	1,08
F41	292,58	14,60	63,19	5,20	600,10	26,10	34,5	0,88
F45	264,52	13,20	97,22	8,00	660,20	28,72	31,1	0,80
F46	387,50	19,34	176,80	14,55	515,20	22,41	32,3	0,83
F48	248,49	12,40	113,80	9,37	640,50	27,86	28,55	0,73
F51	284,56	14,20	94,78	7,80	669,14	29,11	27,56	0,71
F52	290,40	14,49	151,00	12,43	523,70	22,78	48,05	1,23
F57	290,58	14,50	102,08	8,40	569,50	24,77	26,84	0,69
F58	300,60	15,00	153,12	12,60	578,20	25,15	29,62	0,76
F66	300,60	15,00	94,78	7,80	650,60	28,30	23,89	0,61
F70	375,00	18,71	314,88	25,91	993,80	43,23	28,5	0,73
F72	310,00	15,47	176,70	14,54	570,00	24,80	42,3	1,08
F75	260,52	13,00	116,60	9,60	615,3	26,77	52,62	1,35
F79	284,56	14,20	109,37	9,00	568,30	24,72	34,73	0,89
F81	324,64	16,20	68,05	5,60	590,30	25,68	28,64	0,73
F83	310,20	15,48	148,50	12,22	578,70	25,17	50	1,28
F87	324,64	16,20	104,51	8,60	550,20	23,93	54,06	1,38
F95	304,60	15,20	75,35	6,20	608,56	26,47	48,37	1,24
F96	320,64	16,00	72,91	6,00	577,30	25,11	50,68	1,30
F98	725,44	36,20	274,65	22,60	360,20	15,67	48,23	1,23
F100	720,05	35,93	340,33	28,01	95,63	4,16	37,88	0,97

N° Forage	Cl		(SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l
<b>F02</b>	595,61	16,80	1438,00	29,91	172,02	2,82	0,94	0,07
<b>F07</b>	907,59	25,59	352,61	7,33	156,16	2,56	20,04	1,43
<b>F12</b>	1173,40	33,09	1313,60	27,32	170,80	2,80	25,70	1,83
<b>F13</b>	1269,21	35,79	1467,89	30,53	147,62	2,42	64,30	4,59
<b>F16</b>	1132,50	31,94	947,51	19,71	134,20	2,20	7,98	0,57
<b>F17</b>	995,66	28,08	187,87	3,91	166,20	2,73	10,08	0,72
<b>F18</b>	822,50	23,19	1183,26	24,61	159,82	2,62	48,69	3,48
<b>F19</b>	851,55	24,01	981,13	20,41	195,20	3,20	25,00	1,79
<b>F20</b>	902,10	25,44	281,12	5,85	175,68	2,88	13,27	0,95
<b>F23</b>	864,70	24,38	1015,00	21,11	201,30	3,30	23,80	1,70
<b>F25</b>	910,56	25,68	284,31	5,91	170,08	2,79	19,36	1,38
<b>F26</b>	851,55	24,01	981,13	20,41	195,20	3,20	25,00	1,79
<b>F27</b>	907,59	25,59	409,49	8,52	185,44	3,04	9,57	0,68
<b>F28</b>	567,24	16,00	1108,25	23,05	175,68	2,88	18,42	1,32
<b>F31</b>	801,23	22,59	336,64	7,00	173,24	2,84	13,25	0,95
<b>F34</b>	791,98	22,33	1460,57	30,38	158,60	2,60	17,14	1,22
<b>F39</b>	900,50	25,39	266,70	5,55	148,84	2,44	19,99	1,43
<b>F41</b>	812,50	22,91	1225,00	25,48	152,50	2,50	18,95	1,35
<b>F45</b>	785,67	22,16	1770,00	36,82	151,28	2,48	19,50	1,39
<b>F46</b>	1050,00	29,61	1300,00	27,04	150,30	2,46	23,50	1,68
<b>F48</b>	296,59	8,36	1200,00	24,96	158,60	2,60	13,00	0,93
<b>F51</b>	766,74	21,62	1080,00	22,46	175,68	2,88	18,42	1,32
<b>F52</b>	865,90	24,42	1054,00	21,92	186,05	3,05	18,50	1,32
<b>F57</b>	836,15	23,58	1710,00	35,57	109,80	1,80	19,25	1,37
<b>F58</b>	962,37	27,14	1230,00	25,58	112,12	1,84	17,30	1,24
<b>F66</b>	968	27,29	1072	22,30	93,94	1,54	20,30	1,45
<b>F70</b>	1307,40	36,87	1266,24	26,34	128,10	2,10	30,20	2,16
<b>F72</b>	870,60	24,55	1216,50	25,30	225,70	3,70	14,70	1,05
<b>F75</b>	985,59	27,79	255,23	5,31	162,26	2,66	29,41	2,10
<b>F79</b>	939,50	26,49	726,49	15,11	176,90	2,90	16,59	1,18
<b>F81</b>	857,96	24,19	363,07	7,55	134,20	2,20	18,21	1,30
<b>F83</b>	908,09	25,61	1267,50	26,36	198,25	3,25	21,50	1,54
<b>F87</b>	911,93	25,72	407,17	8,47	172,02	2,82	20,60	1,47
<b>F95</b>	928,86	26,19	285,17	5,93	170,35	2,79	12,30	0,88
<b>F96</b>	900,50	25,39	270,11	5,62	170,80	2,80	14,10	1,01
<b>F98</b>	1060,20	29,90	1430,39	29,75	50,02	0,82	44,35	3,17
<b>F100</b>	990,56	27,93	210,86	4,39	150,05	2,46	11,05	0,79

N° Forage	Cduc,( $\mu$ S/cm)	PH	TH	i.e.b	SAR	% Na
<b>F02</b>	3460	7,45	83,00	-0,57	8,68	58,31
<b>F07</b>	3930	7,62	135,00	-0,01	6,74	46,90
<b>F12</b>	5030	7,74	150,00	-0,05	8,60	51,47
<b>F13</b>	5450	7,63	264,00	0,21	5,21	33,08
<b>F16</b>	4410	7,18	290,00	0,53	2,58	19,04
<b>F17</b>	3730	7,19	139,00	0,17	6,01	43,78
<b>F18</b>	3890	7,94	109,00	-0,21	8,17	54,17
<b>F19</b>	3920	7,30	128,00	0,02	6,20	45,09
<b>F20</b>	3790	7,80	126,00	0,01	6,73	47,34
<b>F23</b>	4020	7,25	126,00	-0,05	6,87	47,89
<b>F25</b>	3820	7,23	105,00	-0,13	8,61	55,89
<b>F26</b>	3920	7,61	128,00	0,02	6,20	45,09
<b>F27</b>	4160	7,36	114,00	-0,18	8,54	54,38
<b>F28</b>	3070	7,28	99,00	-0,30	6,22	48,23
<b>F31</b>	3670	7,45	120,00	-0,09	6,90	49,09
<b>F34</b>	4040	7,01	132,00	-0,22	7,13	48,32
<b>F39</b>	3660	7,48	116,00	0,02	7,03	49,65
<b>F41</b>	3990	7,51	99,00	-0,18	8,30	55,80
<b>F45</b>	4010	7,22	106,00	-0,33	8,82	56,63
<b>F46</b>	3310	7,50	169,00	0,22	5,44	39,23
<b>F48</b>	3760	7,40	109,00	-2,42	8,45	55,33
<b>F51</b>	4080	7,33	110,00	-0,38	8,78	56,18
<b>F52</b>	4050	7,42	135,00	0,02	6,21	44,73
<b>F57</b>	3690	7,36	114,00	-0,08	7,32	51,23
<b>F58</b>	3970	7,39	138,00	0,05	6,77	47,01
<b>F66</b>	4030	7,10	114,00	-0,06	8,38	54,73
<b>F70</b>	7190	8,10	223,00	-0,19	9,15	48,80
<b>F72</b>	4380	7,95	150,00	-0,05	6,40	44,37
<b>F75</b>	3940	8,05	113,00	-0,01	7,96	52,79
<b>F79</b>	3720	7,75	116,00	0,03	7,26	50,65
<b>F81</b>	3730	7,62	109,00	-0,09	7,78	53,27
<b>F83</b>	4380	7,09	138,00	-0,03	6,76	46,49
<b>F87</b>	4152	7,29	124,00	0,02	6,80	47,76
<b>F95</b>	3840	7,99	107,00	-0,06	8,09	53,91
<b>F96</b>	3740	7,52	110,00	-0,04	7,57	51,88
<b>F98</b>	4630	7,37	294,00	0,43	2,89	20,70
<b>F100</b>	3710	7,37	320,00	0,82	3,02	6,02

## Annexe N°07 : Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER

N° forage	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
	r % Anions	r % Cations	
<b>F02</b>	$\text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F07</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F12</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F13</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Chloruré calcique
<b>F16</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Chloruré magnésienne
<b>F17</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F18</b>	$\text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F19</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F20</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F23</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F25</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F26</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F27</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F28</b>	$\text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F31</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F34</b>	$\text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F39</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F41</b>	$\text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique

N° forage	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
	r % Anions	r % Cations	
<b>F45</b>	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F46</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F48</b>	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F51</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F52</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F57</b>	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F58</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F66</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F70</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F72</b>	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F75</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F79</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F81</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F83</b>	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté sodique
<b>F87</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F95</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F96</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	Chloruré sodique
<b>F98</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Chloruré calcique
<b>F100</b>	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Chloruré calcique



## Annexe N°08: Résultats d'analyse physico chimiques des eaux avant et après traitement



وزارة الموارد المائية  
MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU

الوكالة الوطنية للموارد المائية  
AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES  
Créée par décret N° 81 / 167 du 25 juillet 1981

Alger le :26/09/2012

Demandeur : Tiba Drinking  
Analyse demandée : Analyse complete  
Date de réception : 16/09/12  
Date de prélèvement : 16/09/12  
N° de laboratoire : 294  
Désignation : Eau non filtrée

## RESULTATS D'ANALYSE

PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES	RESULTATS "R"	VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE
PH	6,97	6,5 <R< 8,5
Conductivité (ms/cm)	4,33	2,80
Turbidité eau brute (ntu)		2,00
Turbidité eau déc. (ntu)		-
Résidu sec à 110° (mg/l)	3068	2000

MINERALISATION GLOBALE	RESULTATS "R"	VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE
Calcium Ca ++ (mg/l)	503	200,00
Magnésium Mg ++ (mg/l)	69	150,00
Sodium Na + (mg/l)	385,0	200,00
Potassium K + (mg/l)	19,00	20,00
Chlorure Cl - (mg/l)	532	500,00
Sulfate SO4 -- (mg/l)	1543	400,00
Bicarbonate HCO3 - (mg/l)	61	-
Carbonate CO3 -- (mg/l)	0,00	-
Silice SiO2 (mg/l)	20,60	-
TH (°F)	155	-
TAC (°F)	5	-
TA (°F)	0	-

PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS "R"	VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE
Ammonium NH4 + (mg/l)		0,50
Nitrite NO2 - (mg/l)		0,10
Nitrate NO3 - (mg/l)	70,20	50,00
O.Phosphates PO4 --- (mg/l)		0,50
Fluorure F - (mg/l)		1,50
Matières Organiques (mg/l O2)		3,5

## Interprétation:

Présence de teneur élevée en sels minéraux et en nitrates , cette eau ne répond pas aux normes de potabilité physico-chimique.

NB: Les résultats d'analyses sont donnés sous toutes réserves dans la mesure où le prélèvement n'a pas été effectué par nos services .





وزارة الموارد المائية  
MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU

الوكالة الوطنية للموارد المائية  
AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

Créée par décret N° 81 / 167 du 25 juillet 1981

Alger le :26/09/2012

Demandeur : Tiba Drinking  
Analyse demandée : Analyse complete  
Date de réception : 16/09/12  
Date de prélèvement : 16/09/12  
N° de laboratoire : 295  
Désignation : Eau filtrée

RESULTATS D'ANALYSE

PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES	RESULTATS "R"	VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE
PH	6,87	6,5 <R< 8,5
Conductivité (ms/cm)	0,76	2,80
Turbidité eau brute (ntu)	0,00	2,00
Turbidité eau déc. (ntu)	0,00	-
Résidu sec à 110° (mg/l)	472	2000

MINERALISATION GLOBALE	RESULTATS "R"	VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE
Calcium Ca ++ (mg/l)	81	200,00
Magnésium Mg ++ (mg/l)	16	150,00
Sodium Na + (mg/l)	36,0	200,00
Potassium K + (mg/l)	2,00	20,00
Chlorure Cl - (mg/l)	59	500,00
Sulfate SO4 -- (mg/l)	44	400,00
Bicarbonate HCO3 - (mg/l)	271	-
Carbonate CO3 -- (mg/l)	0,00	-
Silice SiO2 (mg/l)	9,90	-
TH (°F)	27	-
TAC (°F)	22	-
TA (°F)	0	-

PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS "R"	VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE
Ammonium NH4 + (mg/l)		0,50
Nitrite NO2 - (mg/l)		0,10
Nitrate NO3 - (mg/l)	15,90	50,00
O.Phosphates PO4 --- (mg/l)		0,50
Fluorure F - (mg/l)		1,50
Matières Organiques (mg/l O2)		3,5

**Interprétation:**

cette eau répond aux normes de potabilité physico-chimique pour les paramètres demandés (sous réserve d'une analyse de potabilité et bactériologique)

NB: Les résultats d'analyses sont donnés sous toutes réserves dans la mesure où le prélèvement n'a pas été effectué par nos services.

## Annexe N°09 : INVENTAIRE DES FORAGES-AEP- 2014 WILAYA D'EL OUED

## COMMUNE D'EL-OUED

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES- UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F01	EL ASNAM 400 LGTS Bis	301085	3692807	92	300	2007	31		24	Bon	977616
F02	HAÏ 19 MARS	299634	3691389	92	280	2007	22	42	24	Bon	693792
F03	SIDI MESTOUR	302577	3693671	65	265	1984	29,6		24	Bon	933466
F04	CHOUHADA	302290	3691026	87	350	1981	12	30	24	Bon	378432
F05	TIKSEBT 2	299426	3695091	71	280	1977	6		24	Bon	189216
F06	TIKSEBT EL GHARBIA	298033	3695244	79	278	2009	35	42,3	24	Bon	1103760
F07	AEP CHOTT	303377	3697414	68	280	2010	35	37,5	24	Bon	1103760
F08	CHOTT HAÏ NADOR	302897	3696684	66	284	2004	33	35	24	Bon	1040688
F09	AEP UNIVERSITE	301096	3697122	71	280	2009	34,5	32	24	Bon	1087992
F10	HAI ENNASSIM	301085	3692808	92	266	2008	43	33,8	24	Bon	1356048
F11	CHATEAU D'EAU 300 LGTS	300776	3692876	76	277	2007	30	42	24	Bon	946080

## COMMUNE DE MOUIH OUENSSA

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES- UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F12	AEP MOUIH OUENSA F01Bis	286799	3675852	91	219	2007	30,9	31,75	12	Bon	487231
F13	AE P MOUIH OUENSA F02	286971	3676588	80	220	1992	31	35,50	12	Bon	488808

## COMMUNE DE OUED EL ALENDA

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES- UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F14	AEP OUED EL ALENDA F01	291215	3680009	83	260	1984	30,8		8	Bon	323770
F15	AEP OUED EL ALENDA F02	291235	3682135	83	247	1994	30	37,5	5	Bon	197100
F16	AEP OUED EL ALENDA F03	291902	3679409	89	219	2007	34	37	2	Bon	89352
F17	AEP MOUIH EL GHAZALA	293881	3677487	100	219	2007	35	31	4	Bon	183960

**COMMUNE DE NAKHLA**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F18	KHOBNA	310467	3685871	80	252,5	1977	27	31	11	Bon	390258
F19	NAKHLA	309371	3684105	85	270	1977	31		24	Bon	977616
F20	GHENABZIA	308015	3682283	90	240	1990	12	38	11	Bon	173448

**COMMUNE DE ROBBAH**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F21	BEGHAZLIA	306107	3683985	93	254	1995	21	41,5	15	Bon	413910
F22	AMIR AEK ROBBAH 4	305264	3684525	93	242	1997	29,7	36,17	14	Bon	546361
F23	ROBBAH 1BIS PARC	305222	3685019	93	253	2003	33	39,7	14	Bon	607068
F24	LAOUACHIR	304941	3686473	82	254,4	1990	37		21	Bon	1020978
F25	HAÏ EZZAOUIA	304038	3685351	91	280	2009	33		15	Bon	650430

**COMMUNE D'EL OGLA**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F26	EL OGLA 3	308480	3680887	91	242	2003	23	32,7	12	Bon	362664
F27	EL AGUILA F2	310207	3681839	80	248	1997	27,8	31,35	12	Bon	438350

**COMMUNE DE BAYADHA**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F28	AEP BAYADHA 1 BIS	303822	3688715	90	253	2003	28	38,44	10	Bon	367920
F29	LEBBAMA	304606	3687836	76	265	1983	37		17	Bon	826506
F30	LEFTAHZA	304750	3687278	77	251	1995	30	33,5	14	Bon	551880
F31	SOUALAH	306361	3690205	125	260	1985	23		24	Bon	725328
F32	LEGHDAMSI	303327	3689865	73	260	1986	20		24	Bon	630720
F33	AEP ABABSA	304246	3690524	77	270	2003	41,67	32	2	Bon	109509

**COMMUNE DE OURMES**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F34	OURMES 4	293370	3696082	80	305	2003	30	36	7	Bon	2759400
F35	OURMES 3 Bis (Haï ABEÏDI)	293089	3697413	73	315	2004	11,11		4	Bon	583942
F36	OURMES 2	293898	3700231	85	376	1989	27	35,7	8	Bon	2838240
F37	OURMES 1Bis	293006	3698370	67	294	2006	30		14	Bon	5518800
F38	OURMES 5	292192	3697802	118	316	2007	31		8	Bon	3258720
F39	EL HADHOUDI	279432	3689208	94	297	2007	40	50	6	Bon	3153600

**COMMUNE DE KOUININE**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F40	EL GAOUARIR	299008	3698644	77	286	1992	22		10	Bon	289080
F41	KOUININE 2 Bis	299772	3745043	78	300	2008	43,4	35,8	12	Bon	684331
F42	KOUININE 1	298596	3697482	73	295	1961	27,4		12	Bon	432043
F43	CHIKH ECHARAE F5	296710	3697490	81	289	2003	26,5		24	Bon	835704
F44	USINE DIA ABDELHAMID	296583	3702517	72	295	2004	11,6	32	6	Bon	91454
F45	KOUININE F3 ZONE	296698	3701836	75	314	1977	28	34,3	4	Bon	147168

**COMMUNE DE TAGHZOUT**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F46	AEP TAGHZOUT 2	295993	3706412	78,5	345	1987	33		17	Bon	737154
F47	CITE EL-ISTIKLAL	294823	3706036	77	382	2003	29	32,8	8	Bon	304848
F48	BAGHOUSA	289370	3708250	56	349	1989	25	34	4	Bon	131400
F49	EL MAMBAE EL DJANOUBI	295818	3704228	85	329	2008	36,36		6	Bon	286662

## COMMUNE DE SIDI AOUN

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F50	EL-DJEDAÏDA GHARBIA F03	300850	3713985	65,3	360	1988	33	36	3	Bon	130086
F51	SOUIHLA F02	304955	3711528	44	386	2009	31,25		4	Bon	164250
F52	AEP SIDI AOUN	305623	3712623	54	350	1986	40		14	Bon	735840
F53	AEP SIDI AOUN Nord	305650	3713979	50	365	2004	27,8	37,6	4	Bon	146117
F54	AEP LADOUAOU	305167	3710506	55	354	1992	27,8		7	Bon	255704
F55	EL-DJEDAÏDA (Nord)	300658	3717163	51	290	2009	32	33,8	3	Bon	126144
F56	EL-DJEDAÏDA CHERGUIA	306174	3714369	59	383	2004	30		6	Bon	236520

## COMMUNE D'EL MAGRANE

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F57	Magran Centre	306459	3715719	60	394,6	1961	27,8		21	Bon	767113
F58	El Hamadine 01 Bis	307613	3716682	61	386	1997	39,7	31	17	Bon	886819
F59	Oued el Maleh	308598	3722086	68	420	1991	25		4	Bon	131400
F60	Menanaa	309049	3717547	61	419	1994	30	38	5	Bon	197100
F61	O.P.G.I Magrane	307905	3714488	53	386	2003	27	40	12	Bon	425736
F62	Nezlet Lahmadi (hamad)	307456	3717856	47	388	2003	25		8	Bon	262800
F63	Bellila Ayacha	309881	3716575	60	391	1989	34,7		16	Bon	729533
F64	Oum el zbed	309737	3715808	44	380	2004	25	32,6	12	Bon	394200
F65	Haï El Malaâb (Stade)	308051	3716612	39	368	2009	35		16	Bon	735840

## COMMUNE DE TRIFAOUI

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F72	AEP TRIFAOUI	311144	3699355	81	299	1977	27,8		5	Bon	182646
F73	Khobnet Lizerg 1	310143	3698419	103	285	1985	39,7		13	Bon	678155
F74	AEP LIZERG	310665	3697331	69	285	2003	27		3	Bon	106434

## COMMUNE DE HASSI KHALIFA

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F66	El Menchia	317387	3727339	30	411	1993	20	13,55	7	Bon	183960
F67	Merzaka	317481	3720095	42	460	1988	29	18,9	16	Bon	609696
F68	Chouaeiha	316508	3717772	46	427	1996	29		9	Bon	342954
F69	El Adhal	332433	3725831	40	436	1992	10		8	Bon	105120
F70	Hassi khalifa 01	314192	3715382	53	385	1974	33	28,2	6	Bon	260172
F71	Hassi khalifa 02	313365	3715275	77	385	1985	20	24	10	Bon	262800

## COMMUNE DE GUEMAR

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F82	Guemmar 3	295385	3708182	74	359	1986	46		15	Bon	9066600
F83	Guemmar 2	296043	3707551	60	353	1977	36		17	Bon	8041680
F84	Gharbia	294628	3707797	78	372	1993	27		8	Bon	2838240
F85	Aéroport	294308	3709746	60	360	1995	7	31,4	4	Bon	367920
F86	Dahraouia	297296	3709405	57	367	1996	26		18	Bon	6149520
F87	El-Houd	295011	3711241	54	363	2004	26	23,96	12	Bon	4099680
F88	Demitha	292483	3713699	60	398	1990	26		6	Bon	2049840
F89	Guemra 2	294591	3714517	60	377	1987	30		19	Bon	7489800
F90	Mouih-Attia	293150	3717106	48	382	2003	33,33	33,45	8	Bon	3503650
F91	AEP Parc APC	295546	3709658	52	380	2010	30		12	Bon	4730400
F92	Mouih Salah	298647	3713507	53	380	2010	35		10	Bon	4599000

**COMMUNE DE DEBILA**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F75	Akfadou 4	309247	3707990	79	348	1990	34,7		19	Bon	866320
F76	Debila centre	308629	3709389	62	350	2003	28		24	Bon	883008
F77	Debila Est	310260	3710898	63	362	1996	30	38,7	9	Bon	354780
F78	Edjedeida 2 (Zoughbiet)	311075	3714302	61	392	2003	36,5		4	Bon	191844
F79	Edjedeida 1	310038	3715370	99	386	1977	31		13	Bon	529542
F80	Drimini	308231	3712694	61	390	1989	33		12	Bon	520344
F81	AEP HAÏ EN NASR	308207	3710230	67	358	2009	30	34,8	7	Bon	275940

**COMMUNE DE REGUIBA**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F98	Foulia 3	288817	3726570	29	404	1990	60		6	Bon	473040
F99	Hobba 5	291400	3719702	60	390	1989	40		7	Bon	367920
F100	Hobba 18 février	289865	3716746	46	376	2009	17		3	Bon	67014
F101	Reguiba Cherguia 2 Bis	288529	3716991	72	373	1989	40		11	Bon	578160
F102	Reguiba 1 Bis	287545	3716827	57	372	1995	32		24	Bon	1009152
F103	AEP Cité Radhaouine	288072	3718480	44	386	2008	30		10	Bon	394200
F104	Khobnet Aouissa	288679	3713258	63	355	1991	34,7		12	Bon	547150
F105	Chorfa Route El Arefdji	286880	3715917	52	362	2004	27		4	Bon	141912
F106	El-Arfdji	282662	3710834	80	336,4	1992	20		5	Bon	131400

## Annexe N°10 : INVENTAIRE DES FORAGES-IRRIGATION- 2014 WILAYA D'EL OUED

## COMMUNE D'EL-OUED

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES- UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F107	MEHRI F1	295481	3691938	84	272	1980	30		20	Bon	788400
F108	MEHRI F2	296132	3692171	83	276	1989	28		18	Bon	662256
F109	MEHRI F3	295366	3692618	87	287	1989	15		18	Bon	354780
F110	MEHRI F4	296229	3693063	87	273	1990	25		20	Bon	657000
F111	MEHRI F5	294180	3692798	96	273	1990	26		20	Bon	683280
F112	MEHRI F6	295112	3694072	86	289	1991	29		18	Bon	685908
F113	MEHRI F7	294022	3693880	84	301	1992	10		20	Bon	262800
F114	SHAN EL MERTOUM 2	302950	3700535	79	311	1993	20		8	Bon	210240

## COMMUNE DE REGUIBA

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES- UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F115	Foulia 5	289340	3725726	55	408	1994	33,5		6	Bon	264114
F116	Foulia 1	287740	3727981	60	405	1987	25		12	Bon	394200
F117	Bir Roumi	288861	3725028	55	408	1978	30		12	Bon	473040
F118	Hobba 1bis	290941	3719958	42	387	2005	30		20	Bon	788400
F119	Hobba 2 Bis	290040	3720040	60	387	1993	30		20	Bon	788400
F120	Hobba 3	289626	3721127	48	397	1977	30		20	Bon	788400
F121	Sif el Menadi Nouveau	256954	3760869	0	495	2008	55	Art	24	Bon	1734480
F122	F. de reconnaissance ANRH	286995	3729230	24	392	2007	20	20	8	Bon	210240



**COMMUNE DE GUEMAR**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F123	DELIBA	290849	3722827	37	406	2003	20	21	5	Bon	1314000
F124	FOULIA (Mesghouni/Aouimer)	287743	3729275	39	408	1992	35	14	10	Bon	459900
F125	Ammari Bachir	289242	3727115	30	406	1987	32		15	Bon	630720
F126	FOULIA 4	287952	3729394	60	408	1994	30		6	Bon	236520

**COMMUNE DE SIDI AOUN**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F127	EL-DJEDAÏDA DAOUI	301386	3719922	57	409	1994	25	21	2	Bon	65700

**COMMUNE DE DEBILA**

N° FORAGE	NOM DE FORAGE	COORDONNEES-UTM			PROF (m)	ANNEE REAL	DEBIT (L/S)	NS (m)	Durée H/J	ETAT	DEBIT Ext (m3/an)
		X	Y	Z							
F128	AKFADOU 3	309310	3705955	62	350	1977	28		10	Bon	367920
F129	AKFADOU 1 Bis	309102	3705867	78	320	2008	30		15	Bon	591300
F130	AKFADOU 2 bis	309918	3705357	60	320	1995	35		20	Bon	919800

---

---

# *BIBLIOGRAPHIE*

---

---

# *BIBLIOGRAPHIE*

- [01] **A.R.M.I.N.E.S ; 1975:** Modèle de gestion et de mise en valeur des nappes aquifères du Complexe Terminal « Oued Rhir- Souf – Ouargla ». Ecole des mines de Paris ; Rapport.
- [02] **BEL F, & Demargne F, 1966.** Étude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches. 22p.
- [03] **BEL. F., & CUCHE. D., 1970.** Etude des nappes du Complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique. DHW., Ouargla.
- [04] **BUSSON.G ; 1972:** Etude des ressources en eau du Sahara septentrional par UNESCO Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation. VOL 5.
- [05] **Cornet, A. (1964).** Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géog. Phys. et Géol.Dyn, vol. VI, fasc1, 5- 72.
- [06] **Castagny G, 1967.** Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris. France 661 p.
- [07] **Castagny G, 1968.** Prospection et exploitation des eaux souterraines. Dunod édit. Paris, 709 p.
- [08] **DJEMMAL.S, 2009.** L'effet de la sebkha sur la qualité eaux souterraines dans la partie sud-est de setif cas du Guidjal. Thèse de Magister, option: Géologie. Univ. Constantine
- [09] **DIB.I, 2009.** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de plaine de Gadaine – Ain Yaghout (EST ALGERIEN) .Thèse de Magister, option: Géologie. Univ. Constantine.
- [10] **GAAGAI. A, 2009.**Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur Oued Elarab région Est de L'algerie . Thèse de Magister, option: Mobilisation des ressources hydriques et leur impact sur l'environnement. Univ. Batna
- [11] **Guendouz.A (1985):** contribution à l'étude hydrochimique et isotopique des nappes profondes de sahara septentrional. Thèse doctorat 3ème cycle, université Orsay (France).
- [12] **HABES. S, 2006.** Pollution saline d'un lac, cas du lac Fetzara, Est Algérienne. Mémoire de Magister, option: hydrogéologie. Univ. Annaba, 65 – 66 p.
- [13] **KHECHANA. S ; 2007 :** Etude de la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued souf (sud est Algérie).Mémoire de magister en hydrogéologie, université d'Annaba ,133 p
- [14] **KHADRAOUI. A :** L'excès d'eau dans les zones agricoles et urbaines et leur impact environnemental dans les régions Sahariennes.
-

- [15] **KORIBA.B, 2007.** Prévention et lutte contre le phénomène d'entartrage dans les conduites d'eau dans la région de Ouargla – Touggourt. Thèse de Magister, option: Génie chimique. Univ. Ouargla
- [16] **LECHAARI. M. B, 1990.** Contribution a l'étude hydrogéologique des nappes superposées de la région d'El-Oued. Thèse d'ingénieur, option: Hydrogéologie. Univ. Constantine.
- [17] **MEGDOUD.M. 2003.** Qualité des eaux du Sahara septentrional. Journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud, El Oued, les 19 et 20 mai 2003.
- [18] **Merabet. A., & Righi. S., 2011.** Reconnaissance hydrodynamique de Complexe Terminal dans la région de Touggourt. Mémoire d'ingénieur. Univ. Ouargla, 71 p.
- [19] **OSS (2003).** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie. 229p.
- [20] **RODIER J. (1996)** L'analyse de l'eau ; Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème Edition, Ed. Dunod, Paris.
- [21] **SAIBI H. (2003) :** Analyse qualitative des ressources en eaux de la vallée du Souf et impact sur L'environnement, région aride à semi - aride d'El Oued. Mémoire de magister en hydrogéologie. IST. USTHB.
- [22] **UNESCO (1972) :** Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional, Rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris.
- [23] **ZINE .B, 2008.** La remontée des eaux souterraines en surface: mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas d'Oued Souf). Thèse de Magister, option: Construction hydro-technique et environnement. Univ. Batna.
- [24] **ZIANI.D, 2009.** Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de l'aquifere de Ain Djasser. Est Algérien . Thèse de Magister, option: Mobilisation des ressources hydriques et leur impact sur l'environnement. Univ. Batna.
-