



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.

Université d'Oran 2

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire.

Département des sciences de la terre et l'univers

## Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de master en sciences de la terre

Option : Hydrogéologie

*Spécialité* : Eaux souterraines et environnement

*Thème* :

# ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE DU COMPLEXE TERMINAL DE LA VALLEE DE OUARGLA



Présenté par : **KHARROUBI MAHA**

Soutenu le 22 juin 2017, devant le jury composé de :

- M<sup>r</sup>. AISSA SAFA
- M<sup>r</sup>. SIDI MOHAMED HAYANE
- M<sup>r</sup>. A.E.K BAICHE
- Président
- Encadreur
- Examineur

Oran, 2017.

# sommaire

page

Remerciements.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des abréviations.....	
Introduction générale .....	01

## **Chapitre 1**                      **Considération générale**

<b>I. Présentation de la zone d'étude</b>	
1) situation géographique .....	02
2) Hydrologie et réseau hydrographique.....	04
<b>II. Etude climatique</b>	
1) Introduction.....	06
2) Station météorologique de référence .....	06
3) Paramètres Climatologiques .....	06
a) Etude des températures.....	06
b) Etude de l'humidité.....	07
c) La force du vent.....	08
d) Les précipitations .....	09
e) Evaporation .....	09
f) Insolation .....	09
4) Type de climat .....	10
a) Diagramme pluviothermique.....	10
b) Indice de DE. MARTONE.....	10
c) La méthode d'EUVERTE .....	11
5) Conclusion .....	11
<b>III. Etude géologique</b>	
1) Introduction.....	12
2) Aspect structuraux.....	12
3) L'accident Sud Atlasique.....	13
4) Aperçu sur la géologie du Sud Algérie (contexte géologique régional).....	14
a) Domaine cratonique .....	14
5) Structure géologique régional.....	15
6) litho stratigraphie.....	18
a) Secondaire.....	18
b) Tertiaire.....	18
c) Quaternaire.....	19
7) La corrélation des logs des forages.....	20
8) Conclusion.....	22

## **Chapitre 2**                      **Etude hydrogéologique**

1) Introduction.....	23
2) Contexte hydrogéologique régional de la nappe Complexe Terminal.....	26
3) Contexte hydrogéologique local.....	29
4) Ressources en eaux souterraines.....	29
5) Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe CT.....	30
a) Objectif des essais de pompages .....	30

b) Les essais de courtes durées (essai de puits).....	30
c) Les essais de longue durée (essai de nappe).....	30
d) Détermination les paramètres hydrodynamiques.....	30
e) Les méthodes d'interprétation des essais de nappes.....	31
f) Interprétation des essais de pompages de courte durée et longue durée .....	34
g) Porosités efficaces ne .....	42
6) Rabattements (2000- 2050) au CT.....	42
7) Etude piézométrique.....	43
8) Conclusion.....	45

### **Chapitre03                    Etude hydrochimique des eaux souterraines de la nappe CT**

1) Introduction.....	46
2) Contrôle des analyses par la balance ionique .....	46
3) les logiciels utilisés.....	47
a) le logiciel DIAGRAMME.....	47
b) le logiciel Surfer 12.....	48
4) Etude des paramètres physiques.....	49
a) Le potentiel hydrogène (pH).....	50
b) La température.....	51
c) La conductivité.....	52
d) Le Résidu Sec .....	54
5) Etude des paramètres chimiques .....	55
a) Calcium ( $Ca^{2+}$ ).....	56
b) Magnésium ( $Mg^{2+}$ ).....	57
c) Sodium et potassium ( $Na^{+} + K^{+}$ ).....	58
d) Chlorure ( $Cl^{-}$ ) .....	60
e) Sulfates ( $SO_4^{2-}$ ) .....	61
f) Bicarbonates ( $HCO_3^{-}$ ).....	62
g) Nitrate ( $NO_3^{-}$ ) .....	63
6) La classification des eaux souterraines de la nappe CT .....	64
a) Représentation graphique des faciès hydrochimiques .....	64
b) Diagramme de Piper .....	65
c) Diagramme de Berkaloff Schöeller .....	66
7) Etude des rapports caractéristiques.....	70
a) Rapport $SO_4/Cl$ .....	71
b) Rapport $Na/Cl$ .....	71
c) Rapport $Mg/Ca$ .....	71
d) Rapport $HCO_3/SO_4+Cl$ .....	71
8) Étude géochimique de l'évolution des minéraux (Indice de saturation.....	72
9) Qualité chimique des eaux.....	75
a) Potabilité des eaux (Norme et qualité).....	75
b) Normes selon le degré hydrométrique total (D.H.T).....	80
c) Aptitude à l'irrigation.....	81
10) Etude statistiques des données hydrochimiques.....	
a) La méthode analyse en composante principales .....	86
b) Le logiciel utilisé .....	86
c) Statistiques élémentaires .....	87
d) Matrice de corrélation .....	87

<i>e) Diagonalisation</i> .....	88
<i>f) Représentations graphiques</i> .....	88
<i>g) Etude des individus</i> .....	89
11) Conclusion .....	91
Conclusion général.....	92
Références bibliographiques.....	94
Annexes.....	



# *Remerciement*

**Un très grand Merci à Allah qui est toujours présent avec moi et qui m'a aidé à réaliser ce travail.**

**Mes remerciements à mon encadreur Monsieur SIDI MOHAMED HAYANE, Maitre de conférences A à l'université d'Oran 2, qui m'a acceptée de m'encadrer et de m'avoir fait bénéficier de ses orientations, ses connaissances et ses critiques qui m'ont beaucoup aidée à l'amélioration de ce travail. Je le remercie également de m'avoir enseignée durant mes études de master.**

**Je remercie Monsieur AISSA SAFA, Maitre de conférences à l'Université d'Oran 2, qui a bien voulu présider le jury.**

**Je remercie Monsieur ABDELKADER BAICHE, Maitre de conférences à l'Université d'Oran 2, qui a bien voulu examiner ce travail, et je le remercie également pour ses discussions et ses conseils.**

**J'adresse mes vifs remerciements à l'ensemble du personnel technique de l'ANRH de Ouargla et à l'ensemble du personnel de l'Université Kasdi Marbah qui m'ont aidée de près ou de loin.**

**Merci à ma famille qui m'a soutenue durant tout le long de ce travail, en particulier à Ma mère toujours patiente et attentive.**

## Liste des figures

Fig.n°01 : Situation géographique de la wilaya de Ouargla	03
Fig.n°02 : Localisation de zone d'étude (INC, 1960)	04
Fig.n°03 : le réseau hydrographique de la vallée de Ouargla	05
Fig.n°04 : l'évolution des températures annuelles (2003-2013).	07
Fig.n°05 : l'évolution des humidités annuelles (2003-2013).	08
Fig.n°06 : variation de la force du vent (2003-2013).	09
Fig.n°07 : la variation des précipitations annuelles (2003-2013)	10
Fig.n°08 : diagramme pluviothermique par la méthode de GAUSSEN (Ouargla, période 2003-2013).	11
Fig.n°09 : carte de la géologie de l'Algérie	12
Fig.n°10 : carte de la géologie sommaire du Sahara	14
Fig.n°11 : coupe Nord-Sud montrant les principales unités structurales de l'Algérie	15
Fig.n°12 : carte géologique de la région de Ouargla Cornet 1964	16
Fig.n°13 : légende de la carte géologique de l'Algérie Cornet 1964	17
Fig.n°14 : corrélation des logs des forages	21
Fig.n°15 : coupe géologique de la vallée de Ouargla, 2017.	20
Fig.n°16 : carte des aquifères du bassin hydrogéologique	24
Fig.n°17: coupe hydrogéologique schématique à travers le bassin du Sahara Septentrional. (U.N.E.S.C.O, 1972)	25
Fig.n°18 : Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003)	26
Fig n°19 : coupe hydrogéologique transversale du CT et CI (UNECO, 1972).	28
Fig.n°20 : Puits parfait en nappe captive.	32
Fig.n°21 : Courbe universelle de THEIS.	33
Fig.n°22 : superposition des courbes caractéristique de Theis et courbe expérimentale.	33
Fig.n°23 : la courbe expérimentale de forage EL wifak n°03.	35
Fig.n°24 : courbes caractéristiques d'essais par paliers.	36
Fig.n°25 : la courbe expérimentale de forage El wifak n°02.	38
Fig.n°26 : la courbe expérimentale de forage AIN KADOUR.	40
Fig.n°27 : Rabattements 2000 – 2050 au CT (en m) (D'après simulation SASS 2003).	42
Fig.n°28 : la carte piézométrique de la nappe Complexe Terminal, 2017.	43
Fig.n°29 : Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Complexe Terminal (OSS, 2003).	44
Fig n°30 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.	48
Fig.n°31 : Représentation de l'interface du logiciel Surfer.	48
Fig.n°32 : carte isopH.	50
Fig.n°33 : carte isotherme °C	51
Fig.n°34 : carte d'isoconductivité mmho/cm.	52
Fig.n°35 : carte d'isominéralisation.	53
Fig.n°36 : carte d'isorésidu-sec.	54
Fig.n°37 : carte isoteneurs en Ca <sup>2+</sup> (mg/l).	56
Fig.n°38: carte isoteneurs en Mg <sup>2+</sup> (mg/l).	57
Fig.n°39 : carte isoteneurs en Na <sup>+</sup> (mg/l).	58
Fig.n°40 : carte isoteneurs en K <sup>+</sup> (mg/l).	59
Fig.n°41 : carte isoteneur de Cl en (mg/l).	60
Fig.n°42 : carte d'isoteneur de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en (mg/l).	61
Fig.n°43 : carte d'isoteneurs en HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l).	62
Fig.n°44 : carte d'isoteneurs en NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l).	63
Fig.n°45 : secteur de faciès chimiques	64
Fig.n°46 : diagramme de piper des eaux de la nappe CT	66
Fig.n°46: diagramme de piper des eaux de la nappe CT	66

<i>Fig.n°47 :diagramme berkloff Scholler</i>	69
<i>Fig.n°48 : IS versus Cl</i>	74
<i>Fig.n°49 : l'évolution de l'indice de saturation des minéraux de la nappe CT.</i>	75
<i>Fig.n°50 : Concentration de calcium</i>	76
<i>Fig.n°51 : Concentration de magnésium.</i>	77
<i>Fig.n°52 : Concentration de Sodium.</i>	77
<i>Fig.n°53 : Concentration de Potassium.</i>	78
<i>Fig.n°54 : Concentration de Chlorures.</i>	78
<i>Fig.n°55 : Concentration de Sulfates.</i>	79
<i>Fig.n°56 : Concentration de Nitrates.</i>	79
<i>Fig.n°57 : Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal</i>	83
<i>Fig.n°58 : Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal</i>	84
<i>Fig.n°59 : diagramme de WILCOX</i>	85
<i>Fig.n°60 : représentation de l'interface de logiciel XLSTAT.</i>	86
<i>Fig.n°61 : cercle de corrélation des variable plan F1-F2.</i>	90
<i>Fig.n°62 : cercle de corrélation des variables F1-F3.</i>	90
<i>Fig.n°63 : étude des variables de la nappe CT selon plan 1-2.</i>	91
<i>Fig.n°64 : étude des variables de la nappe CT selon le plan 1-3.</i>	91

**Liste des tableaux**

<i>Tableau n°01 : Caractéristiques géographiques de station climatique.</i>	06
<i>Tableau n°02 : Répartition annuelle de température (°C) 2003-2013</i>	06
<i>Tableau n° 05 : Répartition annuelle de l'humidité (%) 2003-2013</i>	07
<i>Tableau n°08 : Répartition annuelles de la force du vent maximal moyenne (Km/h) 2003-2013</i>	08
<i>Tableau n°09 : Répartition annuelle des précipitations moyennes (mm) 2003-2013</i>	09
<i>Tableau n°12 : précipitations et températures annuelles.</i>	10
<i>Tableau n°13 : classification l'indices d'aridité.</i>	11
<i>Tableau n°14 : Rapport des précipitations sur les températures annuelles.</i>	11
<i>Tableau n°15 : la colonne litho stratigraphique synthétique du Forage Albien</i>	19
<i>Tableau n°16 : la colonne litho stratigraphique synthétique du Forage Albien de N'goussa (Ouargla)</i>	29
<i>Tableau n° 17: Résultats de pompage d'essai par paliers du forage EL Wifak n°03.</i>	34
<i>Tableau n°18 : Résultats de pompage d'essai par paliers du forage El wifak n° :02.</i>	37
<i>Tableau n°19 : Résultats de pompage d'essai par paliers du forage Ain Kadour.</i>	39
<i>Tableau n°20 : Résultats de la transmissivité (en m<sup>2</sup>/s) pour les 03 sites</i>	41
<i>Tableau n°21 : Résultats de la diffusivité (en m<sup>2</sup>/s) pour les 03 sites.</i>	41
<i>Tableau n°22 : Résultats de la perméabilité (en m/s) pour les 03 sites.</i>	41
<i>Tableau n°23 : calcul d'erreur sur les analyses chimiques.</i>	47
<i>Tableau n°24 : les paramètres physiques.</i>	49
<i>Tableau n°25: Classification des eaux en fonction de la conductivité</i>	52
<i>Tableau n°26 : les paramètres chimiques</i>	55
<i>Tableau n°27 : les rapports des eaux souterraines de la vallée de Ouargla.</i>	70
<i>Tableau n°28 : indice de saturation des eaux souterraines de la vallée de Ouargla.</i>	73
<i>Tableau n°29 : Normes de potabilité de l'O.M.S</i>	80
<i>Tableau n°30 : Dureté des eaux °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969</i>	84
<i>Tableau n°31 : la qualité des eaux souterraines de CT.</i>	84
<i>Tableau n°32 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation</i>	85
<i>Tableau n°33 : Degré d'aptitude à l'irrigation selon SAR</i>	87
<i>Tableau n°34 : indices d'échange de base de la vallée de Ouargla.</i>	88
<i>Tableau n°35 : Directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation (Toxicité spécifique de certains ions)</i>	89
<i>Tableau n°36 : Pourcentage de variance exprimée</i>	92
<i>Tableau n°37 : Corrélations facteurs variables</i>	92

## LISTE DES ABREVIATIONS

- **A.C.P** : Analyse en Composantes Principales ;
- **A.E.P** : Alimentation en Eau Potable ;
- **A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ;
- **C.I** : Continental Intercalaire ;
- **C.T** : Complexe Terminal ;
- **ERESS** : Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional ;
- **IRR** : Irrigation ;
- **IND** : Industrie ;
- **I.S** : Indice de Saturation ;
- **MNT** : Modèle Numérique de Terrain ;
- **ONM** : Office National de la Météorologie.
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé ;
- **OSS** : Observation du Sahara Sahel ;
- **pH** : Potentiel d'Hydrogène ;
- **S.A.S.S** : Système Aquifère du Sahara Septentrional ;
- **TH** : Titre Hydrotimétrique ;
- **UTM** : Universel Transverse Mercator.

---

# Introduction générale

---

---

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**



Le Sahara Septentrional est l'un des plus grands désert au monde qui couvre l'Algérie, la Tunisie, et la Libye, a été étudié par certains nombre de chercheurs (Kilian 1931 ; Bel et Dermagne 1966 ; Cornet 1964 ; Bel et Cuhe 1969 ; Busson 1970 ; UNESCO 1972 ; Fabre 1976 ; Castany 1982 ; BRL- BNEDER 1999 ; OSS 2003) pour les études géologiques et hydrogéologiques.

Le Sahara Algérien qui s'étend sur les 70 % de la superficie du pays, possède deux grands aquifères, l'aquifère Continental Intercalaire et l'aquifère du Complexe Terminal.

La nappe du Complexe Terminal s'étend dans le bassin oriental de Sud-Est du Sahara septentrional et ce sont les limites d'extension de cette nappe qui a adopté pour l'exploitation des ressources hydriques et la reconnaissance hydrogéologiques.

La vallée de Ouargla fait partie du bassin de l'Oued M'ya dans le bas Sahara de l'Algérie.

L'objectif de ce mémoire est l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe Complexe Terminal de la vallée de Ouargla. Il est structuré en six chapitres qui sont :

- **Chapitre 01** : Considération générale.
- **Chapitre 02** : Etude hydrogéologique.
- **Chapitre 03** : Etude hydrochimique.
- Enfin une **conclusion générale**.

---

# Chapitre 01

---

## *Considération générale*

---

---



## **CONSIDÉRATION GÉNÉRALE**



### **I. Présentation de la zone d'étude :**

#### **1. localisation géographique :**

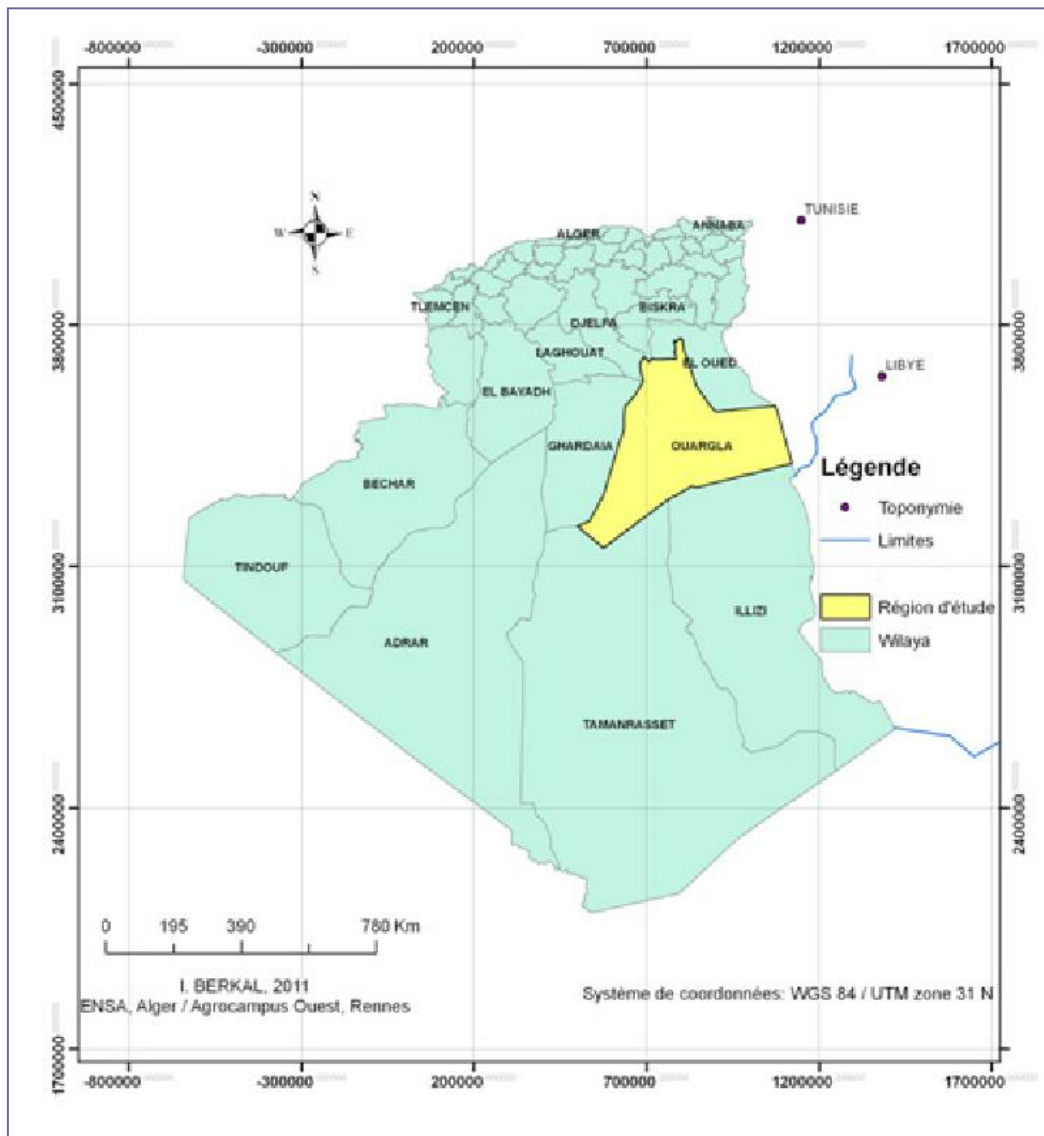
La ville de Ouargla est située dans une dépression appelée (cuvette de Ouargla). La superficie étudiée est de 140 000 hectares. Elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain El Beida et Sidi Khoulied. Elle s'étend entre les coordonnées (UTM Clarke 1880).

$X = 710'000$  ;  $Y = 3'530'000$  et (fig.n°1 et fig.n°2)

$X = 730'000$  ;  $Y = 3'600'000$ .

-la zone étudiée est limitée :

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



**Fig .1: localisation géographique de la wilaya de Ouargla**

([://www.researchgate.net/publication/273711262\\_Les\\_oasis\\_du\\_Sahara\\_algerien\\_entre\\_excedents\\_hydriques\\_et\\_salinite](http://www.researchgate.net/publication/273711262_Les_oasis_du_Sahara_algerien_entre_excedents_hydriques_et_salinite))



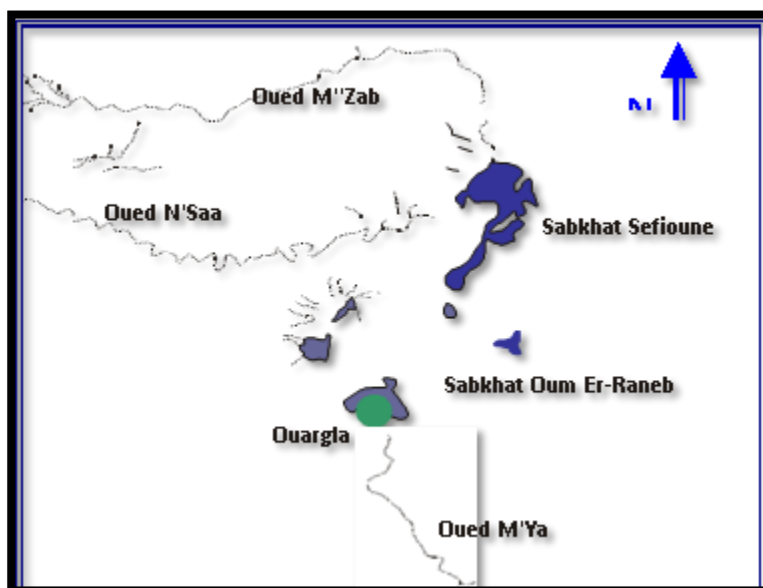


Fig.n°03 : le réseau hydrographique de la vallée de Ouargla (source : ANRH Ouargla).

## II. Etude climatique :

### 1. Introduction :

Le climat du Sud Algérie est de type désertique selon la classification de Köppen, ce climat est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts des températures (OZENDA, 1991).

### 2. Station météorologique de référence :

La station climatique (ONM) l'Office National Météorologique est située dans la wilaya de Ouargla

**Tableau n°01 : Caractéristiques géographiques de station climatique.**

Station	X	Y	Z
<b>Ouargla</b>	05°19'22'	31°57'17''	136 m

### 3. Paramètres Climatologiques :

Les paramètres principaux qui interviennent directement dans l'étude d'un climat sont essentiellement :

#### a. Etude des températures :

La température de l'air est un paramètre météorologique et grandeur physique qui caractérise l'état thermodynamique de l'atmosphère, et mesurée au moyen des thermomètres.

L'analyse des températures sera faite à partir des données recueillies de l'ONM-Ouargla (2003-2013).

**Tableau n°02 : – Répartition annuelle de Température °C 2003-2013 (ONM Ouargla).**

Année / Température	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Minima	16.70	16.69	16.60	16.75	16.36	16.55	16.55	16.84	15.52	15.69	16.07
Maxima	30.45	30.04	30.3	30.81	30.82	30.86	30.7	31.88	28.61	31.21	31.26
moyenne	23.58	23.36	23.45	23.78	23.59	23.71	23.30	24.36	23.06	23.45	17.91

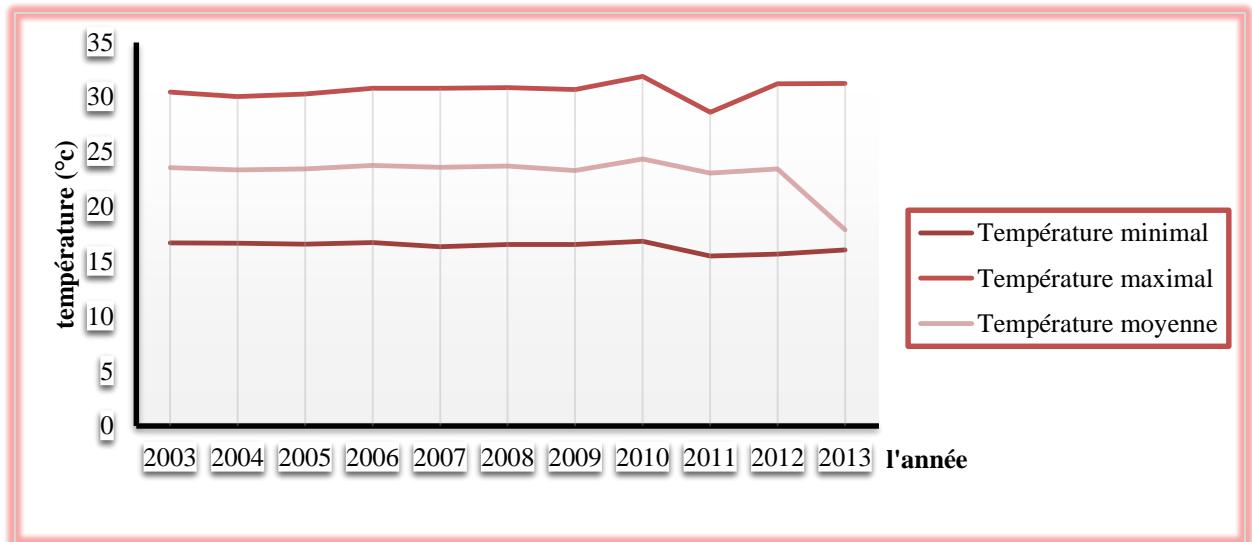


Fig.n°04 : évolution des températures annuelles (2003-2013).

A partir de la courbe de variation annuelle des températures on peut tirer les conclusions suivantes :

- La valeur maximale est de 31,88 °C pendant l’année 2010 et une valeur minimale de 15,52 °C au cours d’année 2011.
- La variation moyenne annuelle des températures de la période étudiée (2003-2013) montre que l’année la plus froide est celle de 2011 et l’année la plus chaude est celle de 2010.

**b. Etude de l’humidité :**

L’humidité est un paramètre qui représente le pourcentage de l’eau existant dans l’atmosphère sous forme de vapeur ou bien nombre de gramme de vapeur d’eau contenue dans un mètre cube d’air, l’humidité est généralement mesurée par un appareil appelée hygromètre.

Tableau n°03 : – Répartition annuelle de l’humidité moyenne (%) 2003-2013 (ONM Ouargla).

Année / Température	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Minima	25.75	27	26	25.08	24.5	28	27.16	25.5	29.41	26.08	22.08
Maxima	60.66	64	60.5	59.75	60.16	63.5	65.5	59.66	65.11	60.25	55.58
moyenne	43.20	47.87	43.25	42.41	42.33	45.75	46.33	42.58	47.29	43.16	38.87

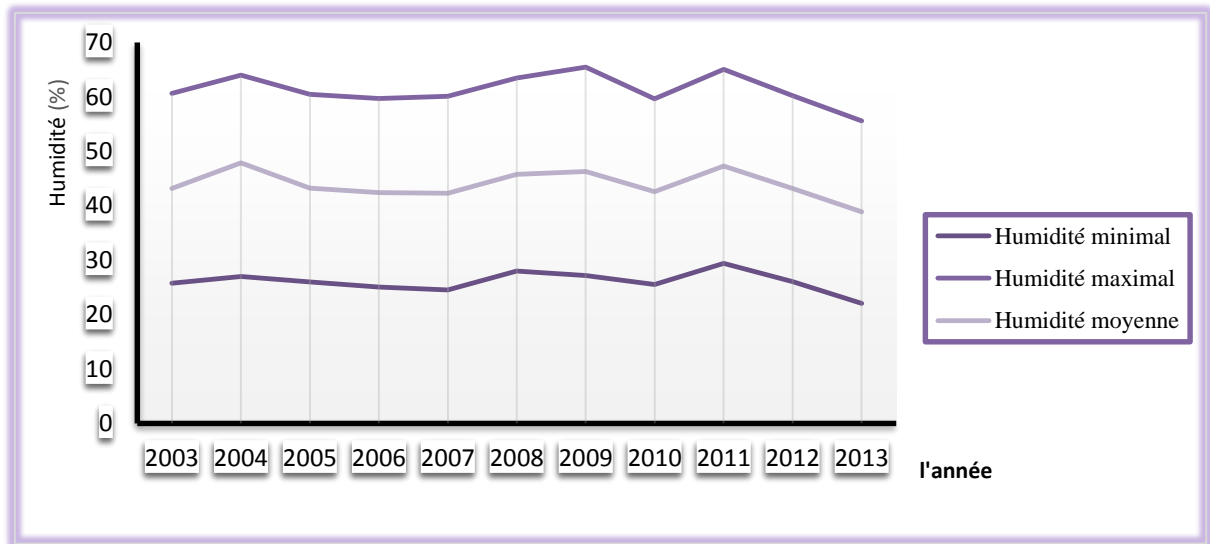


Fig.n°05: évolution des humidités annuelles (2003-2013).

A partir la courbe des variations de l’humidité on peut indiquer que l’année de la faible humidité est celle de l’année 2013 avec une valeur de 22.08% et la forte humidité est celle de l’année 2011 avec une valeur de 65.11%.

**c. force du vent :**

Les vents sont produits par les différences de pression atmosphériques engendrées principalement par les différences de température.

Tableau n°04 : – Répartition annuelles de la force du vent maximal moyenne (Km/h) 2003-2013 (ONM Ouargla).

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Moyenne	15.66	17.83	16.5	17.75	16.41	16.33	15.41	18.83	16.58	17.25	17.83

❖ Selon la courbe ci-dessous, on peut remarquer que L’année la plus ventée est l’année 2010 avec une valeur de 18.83 Km/h.

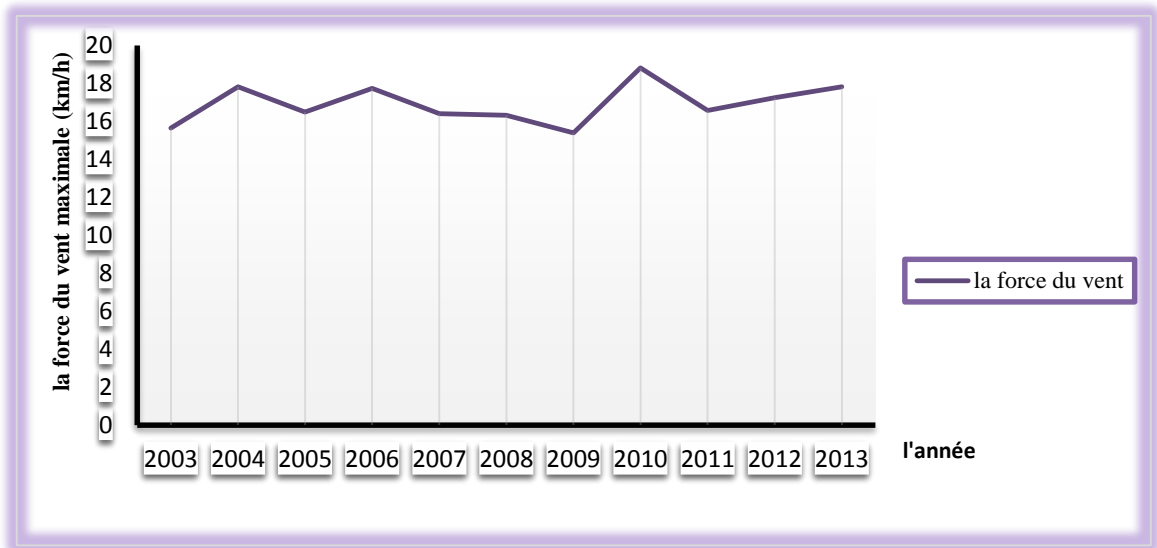


Fig.n°06 : variation de la force du vent (2003-2013).

**d. Les précipitations :**

elles sont très rares et irrégulières, à partir des données concernant cette période (2003-2013), nous avons établi la courbe de variation moyenne des précipitations annuelles, On constate que l’année la plus pluvieuse est celle de 2004, alors que l’année la moins arrosée est celle de 2007.

Tableau n°09 : – Répartition annuelle des précipitations moyennes (mm) 2003-2013 (ONM Ouargla).

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Moyenne	24	98.1	19.7	16.9	10.9	38.6	63.2	19.6	14.9	27	34.6

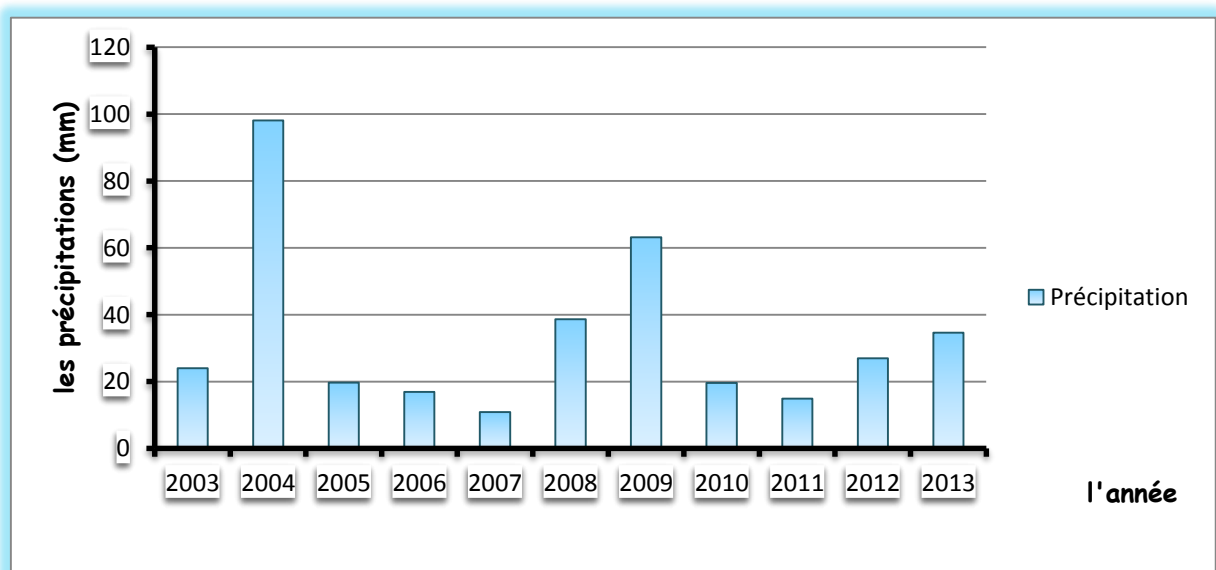




Fig .n°07 : la variation des précipitations annuelles (2003-2013).

4. Type de climat :

a. -Diagramme pluviothermique

Déterminer la période sèche où  $2T > P$  ainsi que la période humide où  $2T < P$ .

Tableau n°12 : les précipitations et les températures annuelles.

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
P (mm)	2.4	9.81	1.97	1.69	1.09	3.86	6.32	1.96	1.49	2.7	3.46
2T (°C)	47.16	46.72	46.9	47.56	47.18	47.42	46.6	48.72	46.12	46.9	35.82

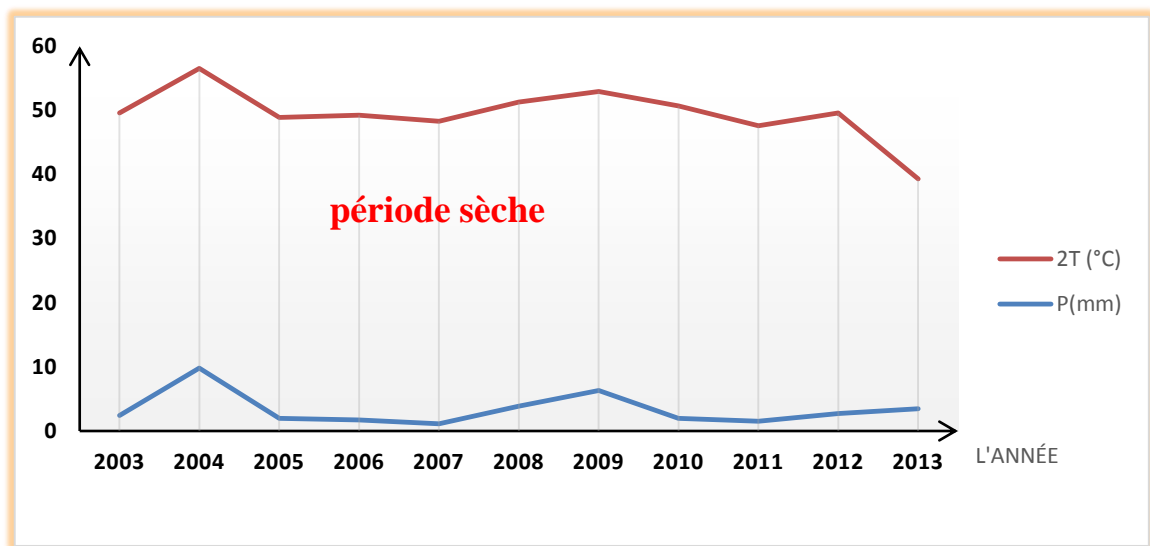


Fig.n°08 : diagramme pluviothermique ( GAUSSEN (Ouargla, période 2003-2013).

b. Indice de DE. MARTONE :

La notion d'aridité n'a pas pour les limites que les zones désertiques mais elle intègre aussi toute les régions ayant des précipitations rares ou irrégulières (Golany, 1982).

Indice d'aridité (I) : développé par E. D. Martone en 1923 qui a défini l'indice d'aridité

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

- P : précipitations moyennes annuelles (mm) ;
- T : températures moyennes annuelles en (°C) ;
- I : l'indice d'aridité.

Tableau n°13 : classification l'indices d'aridité.

Valeur de I	Type de climat	Type de végétation potentielle
0 à 5	Hyper aride	Désert absolu
5 à 10	Aride	Désert
10 à 20	Semi-aride	Steppe
20 à 30	Semi-humide	Prairie naturelle, forêt
30 à 40	Humide	Forêt

Le calcul donne pour la station de Ouargla  $I=0.1$ , donc  $I < 5$  d'où une hyper aridité

- **Le type de climat :** Hyper aride ;
- **Type de végétation :** désert absolue.

**c. La méthode d'EUVERTE :**

Cette méthode est basée sur le rapport des précipitations sur les températures annuelles qui permet de définir quatre types de régimes climatiques :

- ✦ Un régime très sec avec :  $P/T < 1$
- ✦ Un régime sec avec :  $1 < P/T < 2$
- ✦ Un régime subhumide avec :  $2 < P/T < 3$
- ✦ Un régime humide avec :  $P/T > 3$

Tableau n°14 : Rapport des précipitations sur les températures annuelles.

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>P(mm)</b>	2.4	9.81	1.97	1.69	1.09	3.86	6.32	1.96	1.49	2.7	3.46
<b>T (°C)</b>	23.58	23.36	23.45	23.78	23.59	23.71	23.30	24.36	23.06	23.45	17.91
<b>P/T</b>	0.1	0.41	0.08	0.07	0.04	0.16	0.27	0.08	0.06	0.11	0.19

Alors selon les résultats du tableau ci-dessus, on peut conclure que le régime de Ouargla c'est un régime très sec  $P/T < 1$ .

**5. Conclusion :**

L'étude climatique de la vallée de Ouargla se caractérise par une forte température est celle de 31.88 °C et des précipitations très rares (3.34 mm),

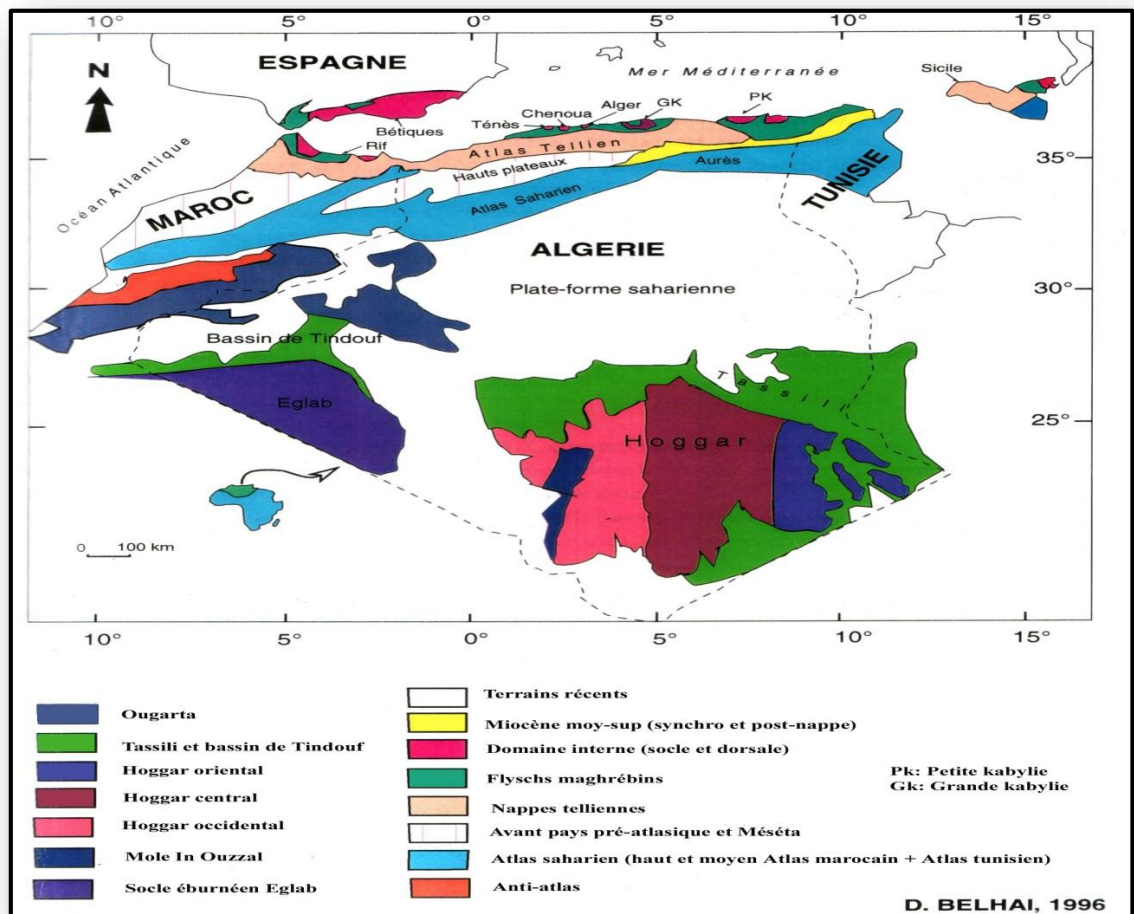
.Les indices calculés montrent que la région est sous un climat hyper aride et un régime très sec avec des vents de sables (Sirocco).

### III. Etude géologique :

#### 1. Introduction

L'Algérie comprend quatre grandes unités qui sont du Nord au Sud :

- ✦ **Atlas Tellien** : constitue de reliefs escarpés et de plaines littorales ;
- ✦ **Les hauts plateaux** ;
- ✦ **L'atlas saharien** : qui forme une longue suite de reliefs orientés NE-SO s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie ;
- ✦ **Le Sahara** : c'est un désert riche en hydrocarbure et des réservoirs hydriques, qui contiennent de grandes étendues de dune (Erg Orientale et Erg occidental), de plaines caillouteuses (regs), ainsi que les oasis,



**Fig.n°09: La carte de la géologie de l'Algérie**  
 ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Géologie\\_de\\_l'Algérie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Géologie_de_l'Algérie))

2. Aspect structuraux

L'Algérie a été structurée en deux unités tectoniques majeures séparées par la faille de 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.

3. L'accident Sud Atlasique :

C'est une ligne continue de failles et de flexures qui met en contact les étendues monotones sahariennes et les chaînes montagneuses atlasiques, l'accident sud atlasique limite la géologie du Sahara d'après la carte au-dessous (fig.n°10).

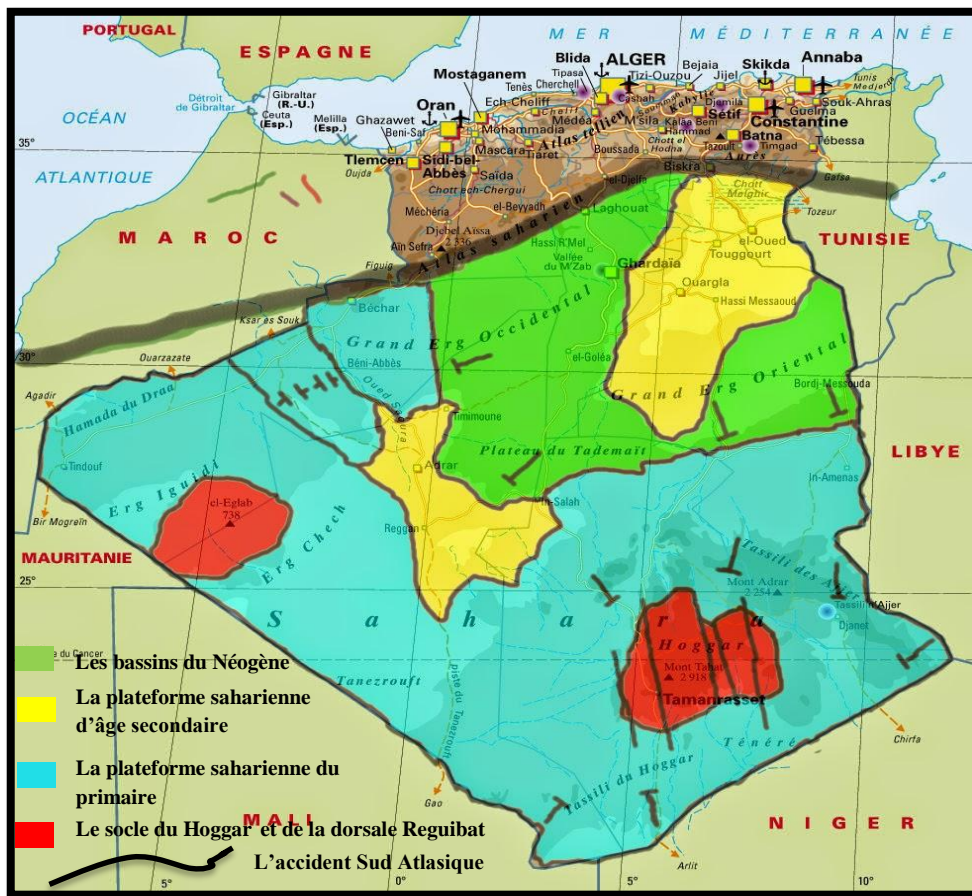


Fig.n°10: La carte de la géologie sommaire du Sahara (<http://sadekgat.blogspot.com/>).

#### 4. Aperçu sur la géologie du Sud Algérie (contexte géologique régional):

La géologie de l'Algérie est composée de deux domaines :

- ✓ Domaine orogénique du Nord de l'Algérie ;
- ✓ Domaine cratonique (Sahara).

##### a. Domaine cratonique :

Localisé dans le Sahara algérien, ce domaine est stable depuis 550 millions d'années. Il est constitué de deux boucliers où affleurent des roches métamorphiques et magmatiques et qui représentent les témoins de deux anciennes chaînes de Montagnes, et d'une plateforme appelée plateforme saharienne, structurée en bassins sédimentaires remplis de sédiments du Néoprotérozoïque et du Phanérozoïque.

*i. Le bouclier Reguibat* : il affleure dans le Sud-Ouest algérien, où il est connu sous le nom du massif Yetti-Eglab.

*ii. Le bouclier Targui* : il affleure dans le Sud du Sahara central et oriental, où il est connu sous le nom du massif du Hoggar.

*iii. La plate-forme saharienne* : les boucliers précédents sont entourés de bassins sédimentaires, remplis de sédiments du Néoprotérozoïque et du Paléozoïque pour la couverture du bouclier Reguibat, et du Paléozoïque et Mésozoïque pour la couverture du bouclier Targui.

Cette couverture sédimentaire a subi les contrecoups de l'orogénèse hercynienne, une chaîne de Montagnes édiflée beaucoup plus au Nord.

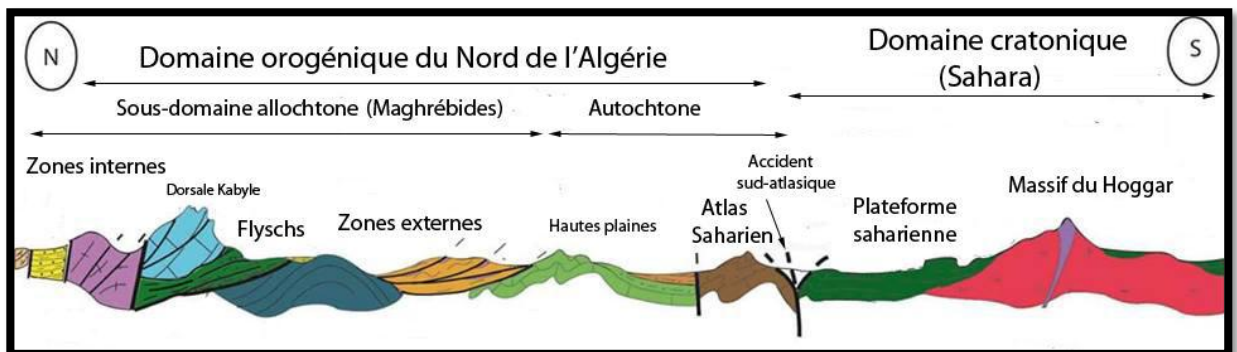


Fig.n°11 : coupe Nord-Sud montrant les principales unités structurales de l'Algérie (Dessin de H. Haddoum, modifié).



5. Structure géologique régional : (fig.n°12)

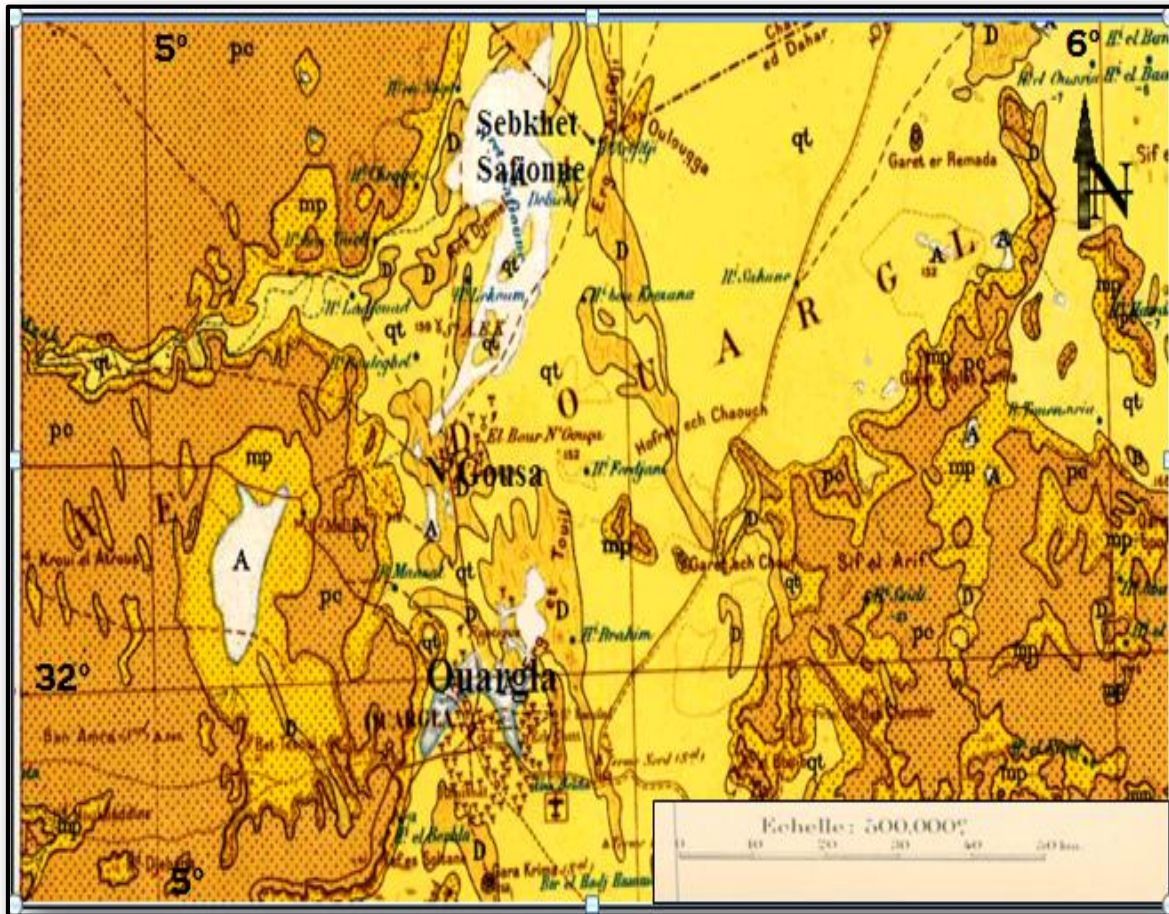


Fig.n°12 : carte géologique de la région de Ouargla Cornet 1964 (source : ANRH Ouargla).

TERRAINS		SEDIMENTAIRES	
A	Alluvions actuelles: lacs, marécages, dayas, chotts, sebkhas, timons et croûtes gypso-salines		
D	Dunes récentes		
qt	Quaternaire continental: alluvions, regs, terrasses		
qm	Quaternaire marin: plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent		
qC	Calabrien: grès marins et formations dunaires associées		
qV	Villafranchien: calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges		
pV	Pliocène continental et Villafranchien non séparés (pV)		
pe	Pliocène continental: poudingues, calcaires lacustres		
P	Pliocène marin   conglomérats, marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaires subordonnées		
mp	Pontien (localement équivalent du mc)		
ms	Miocène terminal marin et lagunaire: couches à Tépali, marnes à gypse		
mm	Miocène supérieur marin: calcaires, grès, argiles		
mc	mc Miocène continental antépontien		
mi	Miocène inférieur marin (Burdigalien)		
oa	Aquitainien continental (pouvant inclure localement la base du Burdigalien)		
oc	Oligocène continental (pouvant inclure localement l'Éocène sup. continental)		
o	Oligocène marin incluant localement l'Éocène supérieur)		
em	Éocène moyen marin		
ee	ee Éocène moyen et inférieur continental		
ei	Éocène inférieur marin		
es	es Crétacé supérieur marin		
esc	esc Crétacé supérieur continental		
esm	esm Crétacé supérieur marin non subdivisé		

Fig.n°13 : légende de la carte géologique de l'Algérie Cornet 1964.

D'après la carte géologique la géologie de la région de Ouargla est constituée par :

- ✓ Des dunes récentes ;
- ✓ Un dépôt continental quaternaire (sables récents) ;
- ✓ Un dépôt pliocène continental constitué des regs sous formes d'une croûte calcaire lacustres ;
- ✓ Des Marnes à gypse, calcaires, grès et argiles ;
- ✓ Des alluvions actuelles.

## 6. litho stratigraphie :

Pour connaître la litho stratigraphie de notre région ; nous avons décrit le forage Albien de N'goussa qui correspond de bas en haut les formations suivantes :

### a. Secondaire :

#### i. Aptien :

C'est une barre carbonatée constituée des dolomies, de grés avec (23 m).

#### ii. Albien :

Il est formé par un dépôt gréseux continental qui repose sur l'Aptien (d'épaisseur 273 m), il est représenté par des grés grisâtres, dolomies, grés rougeâtres plus en moins argileux d'environ 137 m, plus des marnes argileuses, des grés, des marnes dures grisâtres à épaisseur 104 m au sommet de l'Albien y'a des marnes grises plus ou moins argileuses avec présence des traces de grés rougeâtre d'épaisseur 32 m.

#### iii. Cénomaniens :

C'est une série argilo-évaporitique et carbonatée d'environ de 176 m ( base de Complexe Terminal) représentée par des argiles plastiques bigarrées, dolomies et anhydrite repose sur des marnes grisâtres et une alternance d'argiles et marnes schisteuses bigarrées avec présence d'évaporites.

#### iv. Turonien :

Un dépôt carbonaté d'une épaisseur 98 m représenté par des calcaires, des calcaires marneux des grés argileux poreux et crayeux.

#### v. Sénonien lagunaire :

Il est formé par des argiles marneuses vertes grises, des sels massifs avec des passées d'anhydrite et d'argile à épaisseur 290 m.

#### vi. Sénonien carbonaté :

D'épaisseur 222 m, il est représenté par des calcaires dolomitiques, argiles évaporitiques grises et rouges, et marnes grises.

Les termes de crétacé inférieur groupé sont désignés par Continental Intercalaire Killiane.1931 c'est-à-dire série continental intercalée entre deux séries marines du paléozoïque supérieur au-dessous du crétacé supérieur au-dessus.

### b. Tertiaire :

#### i. Eocène :

Dépôt carbonaté d'épaisseur 245 m, il est formé par intercalation de calcaires, marnes et des calcaires marneux de couleur grise et blanchâtre.

#### ii. Mio-Pliocène :

Le Mio-pliocène est un puissant ensemble représenté par des grés, argiles, et marnes avec présence de calcaire qui repose en discordance sur l'Eocène et caractérisé par une forte hétérogénéité.



Le Mio-pliocène est appelé le Continental Terminal, dont séparé sur toute l'étendue de Sahara par quatre niveaux selon BEL et DERMARGNE :

- ✓ **Niveau argileux** : de faible épaisseur, constituant la base de Mio-pliocène.
- ✓ **Niveau sablo-argileux** : plus épais répandu sur tout le Sahara composé d'une série détritique sablo-argileuse. Du point de vue hydrogéologique, c'est le principal aquifère du Mio-pliocène.
- ✓ **Niveau argilo sableux** : peu épais et à limites diffuses, présent surtout dans le centre du bassin.
- ✓ **Niveau sableux** : constitué de sable fins rouges à intercalations gypseuses à la base et passées d'argile.

**c. Quaternaire :**

Constitués des dépôts détritiques, il recouvre des vallées d'érosion. Il est constitué de sables fins à moyen qui se localisent au niveau des dépressions et recouvre une grande extension du bas Sahara.

Tableau n°15 : colonne litho stratigraphique synthétique du Forage Albien de N'goussa (Ouargla) ,2017.

Epaisseur	lithologie	Chrono stratigraphie	
		Etage	Période
98m	Grés, argile et marnes	Moi-pliocène	Néogène
245m	Calcaire marneux grise et calcaire marneux blanchâtre.	Eocène	
125m	Calcaire dolomitique, argile, évaporites grise, évaporite rouge.	Sénonien Carbonaté	Crétacé supérieur
97m	marnes grises dures, anhydrite, dolomie, calcaire		
80m	Argile marneuse verte grise		
211m	Sel massif, passées d'anhydrite et d'argile.	Sénonien Lagunaire	
93m	Calcaire, calcaire marneux gris argileux.	Turonien	
5m	Marnes grisâtres		
26m	Argiles plastiques, dolomies et anhydrite.	Cénomanién	
12m	Marnes grisâtres		
21 m	Argiles plastiques, dolomies		
117m	Alternance d'argiles et marnes schisteuses, évaporites.		
32m	Marnes grises, grés rougeâtre	Albien	Crétacé inférieur
104m	Marnes argileuses, grés, marnes dures grisâtres		
137m	Grés grisâtre, dolomie, grés rougeâtre		
23m	Dolomies, grés		

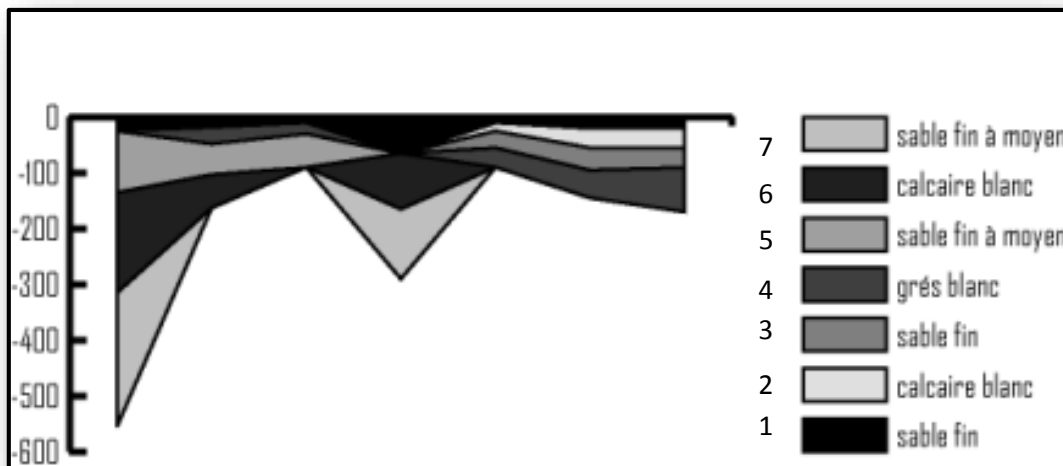
## 7. Corrélation des logs des forages :

La corrélation des logs stratigraphiques (Fig.n°14) établis à partir des forages aquifères (F1, F2, F3 ...F7) dans la région d'étude permet de mettre en évidence la représentation schématisée de la succession des couches géologiques de terrain.

Les épaisseurs varient d'un forage à l'autre, l'épaisseur maximum atteint (240 m) au niveau de forage F1, suivi de forage F4 (180 m).

Les faibles épaisseurs sont atteintes au niveau ou forage F5-F6-F7 (80m) ainsi qu' au niveau des forages des forages F2 et F3 (60 m) .

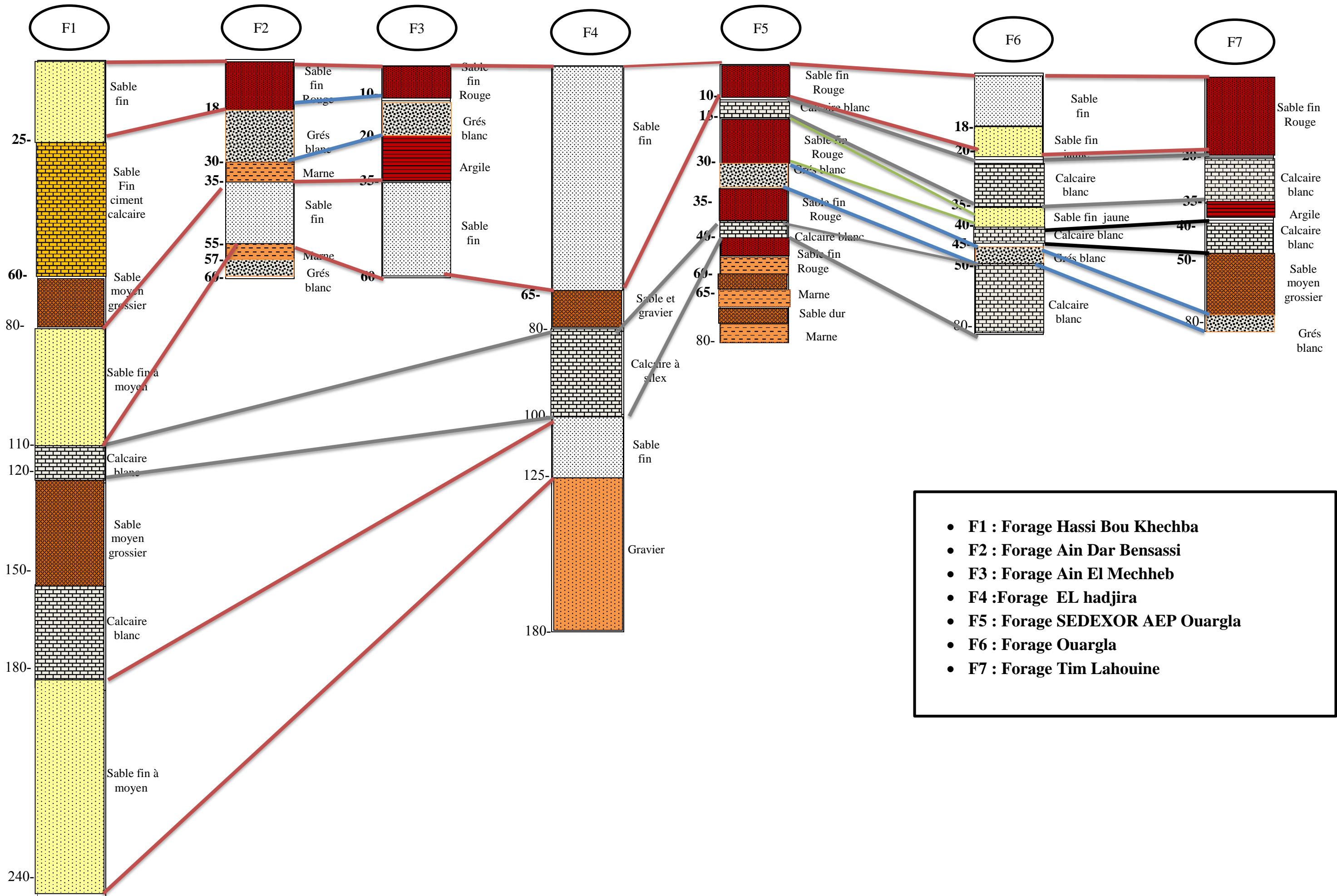
La coupe géologique (fig.n°15) a été réalisée à partir du logiciel Adobe Illustrator.10, qui montre la succession des couches du Complexe terminal.



**Fig.n°15 : coupe géologique de la vallée de Ouargla, 2017.**

Nous pouvons que l'ensemble des forages (Fig.n°15) du Complexe Terminal (Mio-Pliocène) est représenté par :

- ✓ des sables fins (jaunâtres et rougeâtres) ;
- ✓ des sables fins à moyenne ;
- ✓ des grès blancs ;
- ✓ des calcaires



**1. Conclusion :**

La région de Ouargla est une grande cuvette synclinale située dans les bassins du Néogènes. Elle est constituée par :

- Des dunes récentes,
- Des dépôts continentaux et pliocènes continentaux ;
- Des alluvions actuelles.

L'analyse du log de forage de la vallée de Ouargla se caractérise par une litho stratigraphie qui débute du crétacé inférieur (d'âge secondaire) avec les formations allant de l'Aptien jusqu'au Sénonien, puis le tertiaire allant de l'Eocène jusqu'au Mio-pliocène constituant ainsi le Complexe Terminal recouvert par le Quaternaire qui est constitué d'un dépôt détritique.

La corrélation des logs des forages (d'âge Mio-pliocène) et la coupe géologique montre que le Complexe Terminal de la vallée de Ouargla contient sur le plan sédimentologique :

- Des sables fins ;
- Des sables fins à moyen ;
- Des grés ;
- Des calcaires blancs.

---

# Chapitre 02

---

## *Etude Hydrogéologique*

---

---

## ***ETUDE HYDROGEOLOGIQUE***



### **1. Introduction :**

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » qui s'étend sur une vaste surface désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes: la formation du Continental Intercalaire CI et celle du Complexe Terminal CT Partagé entre 3 pays du Maghreb l'Algérie, la Tunisie et la Libye. Il couvre d'environ 1.000.000 de km<sup>2</sup> dont 70% est occupée par l'Algérie.

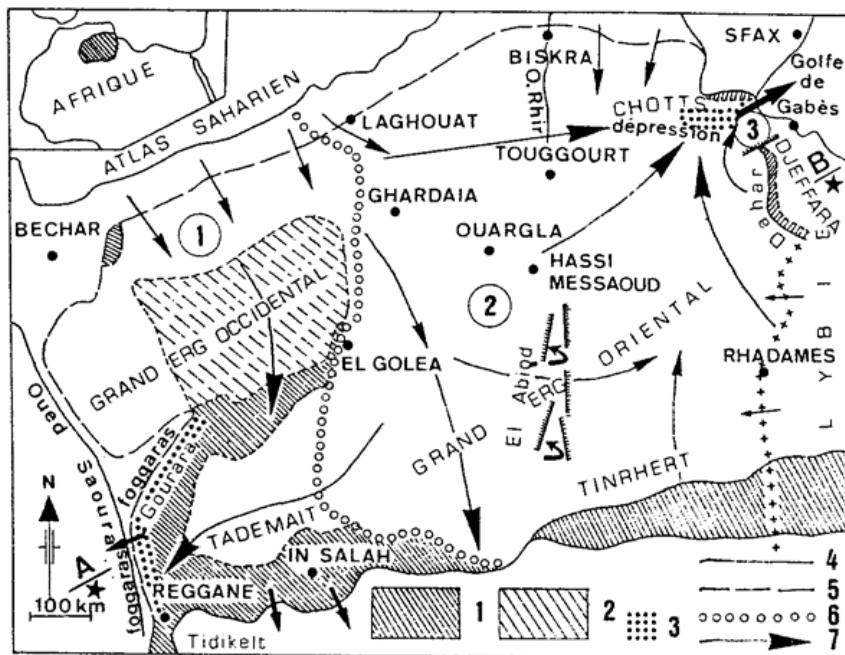
Au Sahara septentrional, le bassin sédimentaire constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 780 000 Km<sup>2</sup>, avec un maximum d'épaisseur de 4000 à 5000 m (CASTANY, 1982). Il est limité (**fig.16**) :

- au Nord par les piémonts de l'Atlas Saharien ;
- à l'Ouest par une dorsale subméridienne Oued Saoura-Reggane
- au Sud-Est par un alignement Est-Ouest de plateaux (Hammada) du Tinhert et du Tadmait ;
- au Nord-Est, dans le Sud Tunisien, par la région de Gabes et les reliefs crétacé du Dahar, par contre la limite orientale avec la Lybie est purement conventionnelle.

Les deux sous-bassins de SASS sont individualisés de part et d'autre de la dorsale subméridienne du Mzab:

- un sous-bassin occidental de 280.000 Km<sup>2</sup> environ, drainé vers le Sud et recouvert partiellement par le grand erg occidental.
- Un sous-bassin hydrogéologique oriental, le plus étendu avec 500.000 Km<sup>2</sup>, drainé vers le NE (erg Oriental).

D'après ROUVILLOIS-BRIGOL (1975), il existe trois aquifères dans la cuvette de OUARGLA représentés par les nappes suivantes : la nappe phréatique, la nappe du complexe terminal (composée de deux nappes : Mio-pliocène et sénonien) et la nappe Albiennaise.



- Aquifères du bassin hydrogéologique du Sahara septentrional. Cadre général de l'aquifère à nappe captive du continental intercalaire (C.I.). D'après UNESCO (1972).

Fig.n°16 : carte des aquifères du bassin hydrogéologique



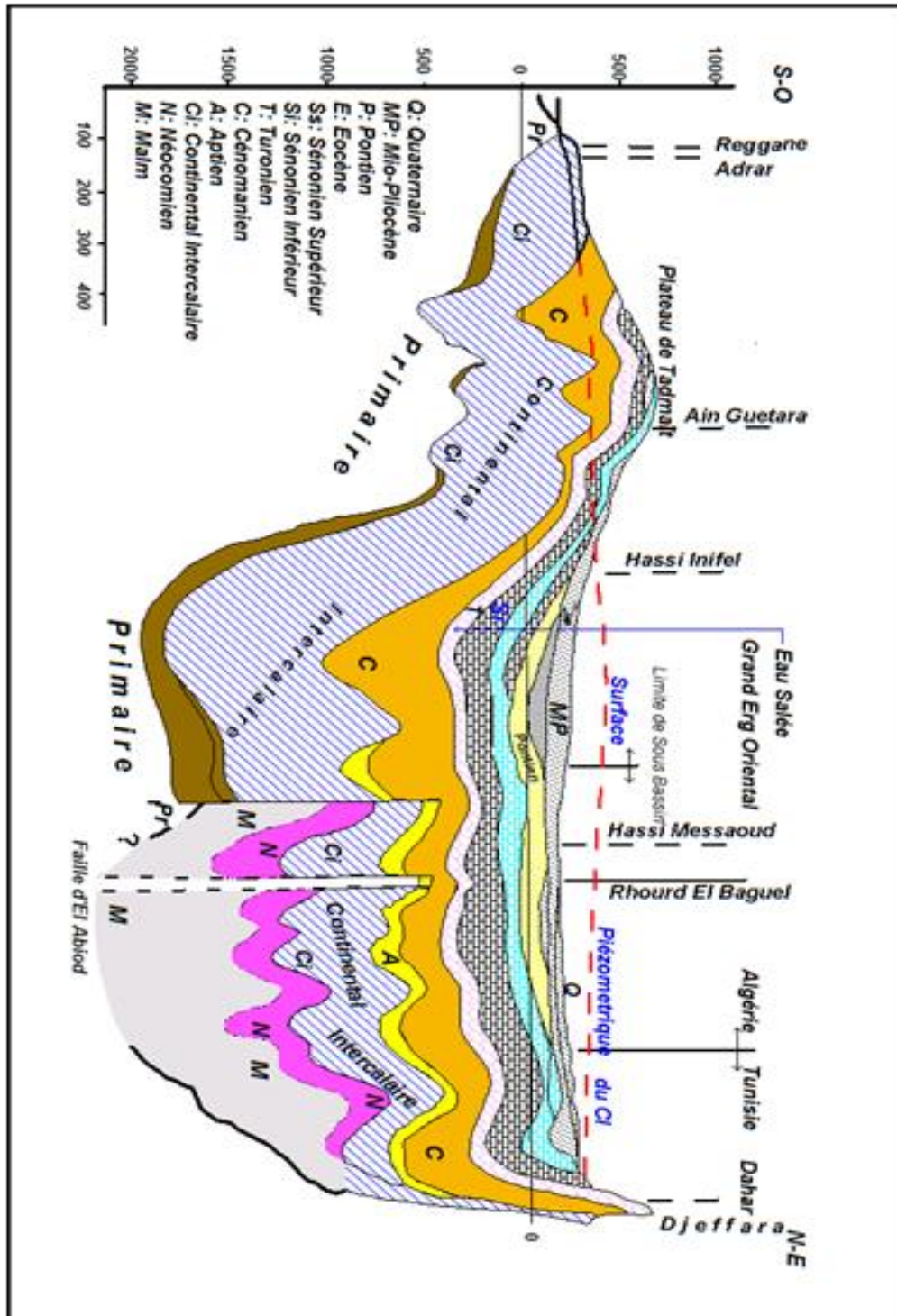


fig.n°17: coupe hydrogéologique schématique à travers le bassin du Sahara Septentrional. (U.N.E.S.C.O, 1972)

## 2. Contexte hydrogéologique régional :

### a. Contexte hydrogéologique de la nappe Continentale Intercalaire :

D'après Kilian, (1931), le «Continental Intercalaire» (Fig.n° :17) désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne, alors qu'au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultant de la transgression cénomaniennne. (Busson, 1970 ; Fabre, 1976).

Il occupe les formations sableuses et argilo gréseuses du Néocomien, Barrémien, Aptien, et de l'Albien (Cornet, 1964 ; Cornet et Gouscov, 1952).

### b. Contexte hydrogéologique de la nappe Complexe Terminal :

Le terme «Continental terminal» selon la définition de K.Killian désignait les formations continentales, sableuses et argileuses, du Mio-pliocène, mais d'après Bel et Dermagne(1966), « la nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Mio-pliocène 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, la nappe du Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire ».

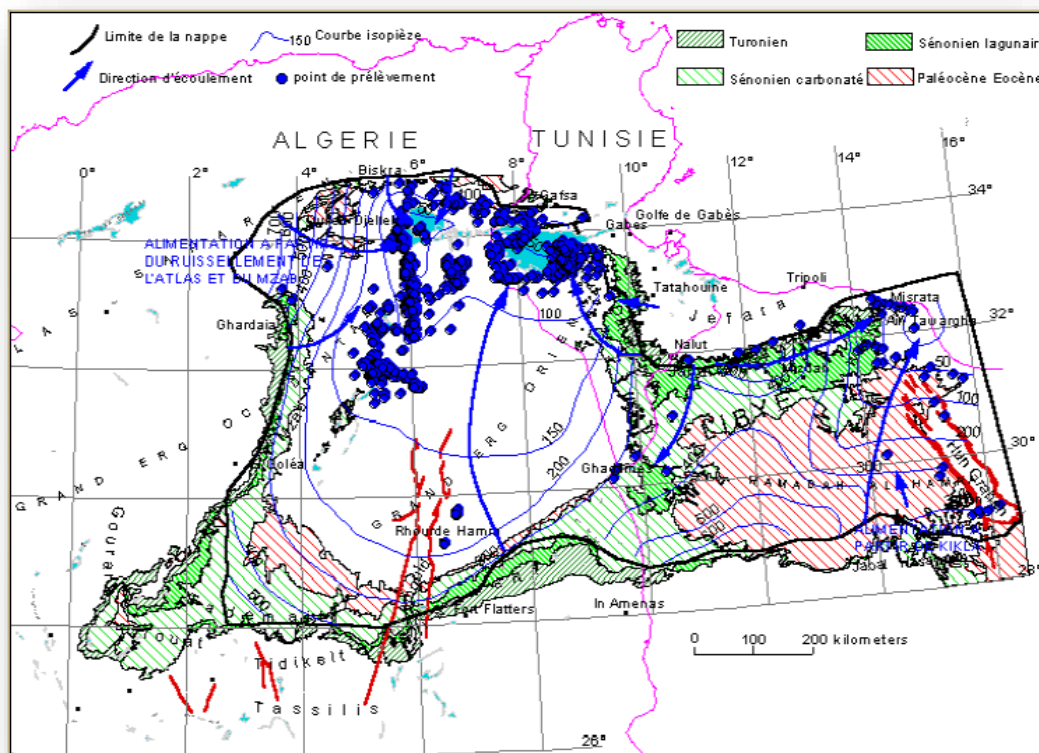


Fig.n°18 : Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003)

Les zones d'alimentation de la nappe proviennent de (Fig.n°:18) :

- ☑ l'Atlas saharien au Nord-Ouest ;
- ☑ le Dahar à l'Est ;
- ☑ le J. Nafusa au Nord-Est ;
- ☑ le Tinrhert au Sud.

Les zones d'exutoires sont principalement centrées sur les Chotts algéro-tunisiens et sur le Golfe de Syrte.

A l'échelle du bassin oriental :

*i. le Turonien : (calcaire-dolomitique)*

Est un aquifère étendu. Elle est plus individualisée sous la couverture imperméable du Sénonien lagunaire, mais ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-pliocène sur la bordure du bassin. Il est imperméable (marnes) dans l'extrême Nord du Sahara oriental.

*ii. Le Sénonien et l'Eocène carbonatés :*

Forme un seul ensemble lithostratigraphique de nature calcaire dont l'épaisseur varie de 50 à 250 mètres. Sa fissuration secondaire lui confère des propriétés hydrogéologiques intéressantes.

*iii. Le Mio-Pliocène :*

Est une formation entièrement aquifère, exploitée un peu partout dans le Sahara septentrional, d'une épaisseur qui augmente de 50 à 100 mètres dans la direction Sud-Ouest / Nord-Est. La partie supérieure de cet aquifère est difficile à schématiser, suite au changement rapide du faciès ; plus argileux à l'intérieur du bassin. C'est ainsi qu'au niveau de l'oued Rhir septentrional, deux unités aquifères lenticulaires ont été reconnues et individualisées au Mio-Pliocène, suite au changement lithologique ; une première et une deuxième nappe, situées respectivement à 40 et 130 mètres de profondeur.

L'écoulement des eaux de la nappe du CT s'oriente vers les chotts du Sahara Oriental : Melhir, en Algérie, Rharsa et Djerid en Tunisie. Alors que dans le bassin occidental les eaux de la nappe se mélangent avec celle du Continental Intercalaire (UNESCO, 1972.).

Le Mio-Plio-Quaternaire, de faciès sableux et argileux avec du gypse, renferme des nappes phréatiques héritées des périodes pluvieuses du pléistocène inférieur. Il résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts (BUSSON, 1970)

Le sens d'écoulement de ces nappes est orienté parallèlement avec celui de la nappe du CT.

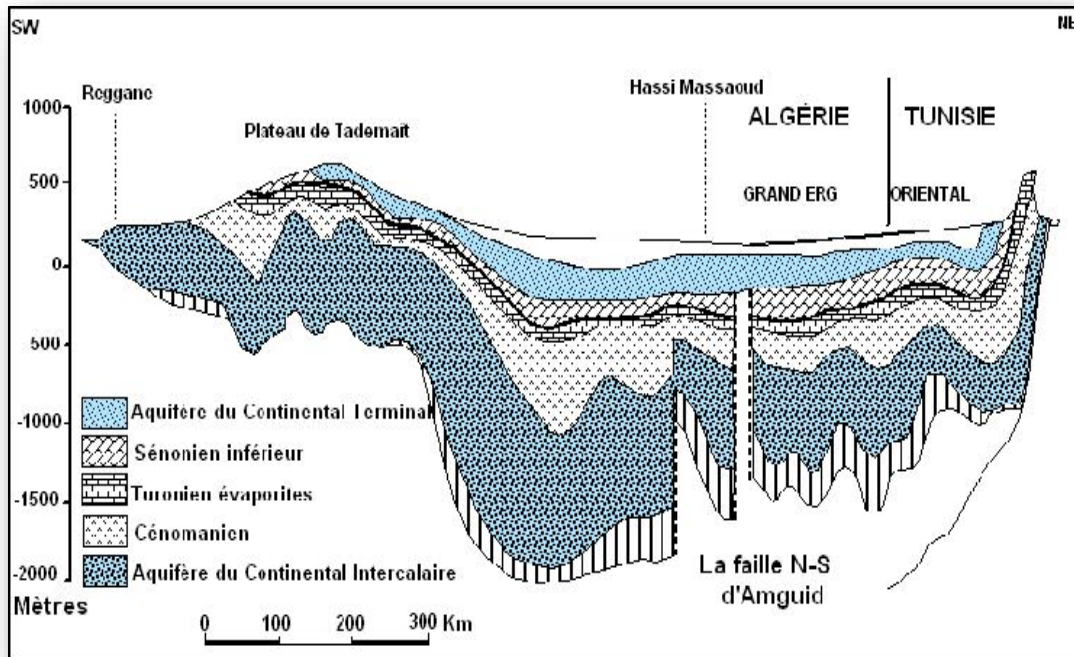


Fig n° 19: coupe hydrogéologique transversale du CT et CI (UNESCO, 1972).

**c. la nappe phréatique :**

La nappe phréatique est contenue dans les sables alluviaux de la vallée. Elle s’écoule du sud vers le nord suivant la pente de la vallée, Sa profondeur varie de 1 à 8 m selon les lieux et les saisons **ROUVILLOIS-BRIGOL (1975)**.

Les analyses des eaux de la nappe phréatique montrent qu’elles sont très salées, la nappe s’écoule librement des points hauts vers les points bas, perpendiculairement aux isopiezés et n’a aucune possibilité de remonter de la Sebkhet Safiouna vers le chott de Ouargla ou la Sebkha d’Oum Raneb.

**3. Contexte hydrogéologique local :**

A l’échelle de la zone d’étude, nous avons trois aquifères qui sont de bas en haut :

- La nappe Albienne :** Les grés et les marnes de CI ;
- La nappe Sénono-Eocène carbonatée :** nappe de calcaire ;
- La nappe de Mio-pliocène :** ensemble détritique (sable, grés, argile).

Tableau n°16 : la colonne litho stratigraphique synthétique du Forage Albien de N'goussa (Ouargla) ,2017.

Epaisseur	Unité hydrogéologique		Chrono stratigraphie	
			Etage	Période
98m	<b>Nappe Complexe Terminal</b>	Nappe de sable	Moi-pliocène	<b>Néogène</b>
467 m		Nappe de calcaire Sénono-Eocène Carbonaté	Eocène	
			Sénonien Carbonaté	<b>Crétacé supérieur</b>
		291m	Imperméable	
98 m		Nappe Turonienne	Turonien	
176 m	Imperméable		Cénomanién	
296 m	<b>Nappe continental intercalaire</b>	Nappe Albienne	Albien	<b>Crétacé inférieur</b>
			Aptien	

#### 4. Ressources en eaux souterraines :

La nappe du Complexe Terminal s'étendu sur une superficie de 350.000 Km<sup>2</sup> dans le Sahara Oriental avec une profondeur qui varie entre 100 et 500 m. Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères qui sont appelés nappes de sables et nappes de calcaires, les eaux de cet aquifère se caractérise par :

- Une température peu élevée ;
- L'eau est moins chargée en sels sur les bordures et relativement plus en charge au centre (plus de 3 g/l) ;



- ☑ L'écoulement général se fait du Sud-Sud-Ouest vers le Nord-Nord-Est, en direction du chott MELGHIR (ZERGOUN, 1997).

## 5. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe CT :

La caractérisation hydrodynamique de la nappe CT se fait par des essais de pompages. Le concept fondamental de l'essai de pompage est très simple : de l'eau est extraite d'un puits ou d'un forage, faisant ainsi baisser le niveau d'eau dans le forage d'extraction et le débit de pompage sont observés pendant un certain temps ;

En réalité, la situation est plus complexe, il faut choisir parmi de nombreux types d'essais (brève ou longue durée, à débit de pompage élevé ou faible, etc.)

### a. Objectif des essais de pompages :

- **Connaître l'ouvrage : essai de puits :**
  - Evaluer les caractéristiques hydrauliques du complexe aquifère ouvrage.
  - Déterminer la courbe caractéristique de l'ouvrage :  $s=f(Q)$  au temps  $t$
- **Connaître l'aquifère : essai de nappe :**
  - Tester le comportement de la nappe, de mesurer les caractéristiques de l'aquifère lorsque les niveaux peuvent être suivis dans des ouvrages influencés, (utilisables comme piézomètres).
  - Identification la présence de limites (limites étanche, colmatage des berges d'une rivière ou réalimentation par la rivière...) avec détermination de la distance de cette limite au forage d'essai.
  - La conduite d'un essai de pompage permet d'apprécier qualitativement les caractéristiques d'un aquifère en déterminant la transmissivité (T) et le coefficient d'emménagement (S).

### b. Les essais de courtes durées (essai de puits) :

Ce type d'essai, dit de courte durée, réalisé à débits croissants de durée constante, vise à s'assurer des capacités de production du forage.

### c. Les essais de longue durée (essai de nappe) :

Un pompage d'essai a pour but de déterminer les caractéristiques hydrauliques d'un aquifère, c'est ce qu'on appelle souvent un « essai de nappe », car c'est avant tout la nappe que l'on teste plutôt que la pompe ou le puits.

### d. Détermination les paramètres hydrodynamiques:

#### i. La transmissivité :

C'est le débit d'eau traversant une section normal à l'écoulement de largeur unitaire prise sur toute l'épaisseur de l'aquifère et sous un gradient hydraulique égale à l'unité ( $m^3/s/m$ ).

ii. Classification de la transmissivité selon (Lasm, 2000):

La transmissivité	La classification
faible	$T < 10^{-5}$
moyenne	$10^{-5} < T < 10^{-4}$
forte	$T > 10^{-4}$

iii. Le coefficient d'emmagasinement S :

Volume d'eau libéré ou emmagasiné à travers une surface d'air égale à l'unité pour une variation de la charge hydraulique normal à cette surface pour une nappe captive, il dépend de l'élasticité des roches et de l'eau.

Dans les nappes libres, le coefficient d'emmagasinement est égal à la porosité efficace ; il est compris entre 0.2 et 0.01.

Dans les nappes captives, il est plus petit,  $10^{-3}$  à  $5.10^{-5}$ .

e. Les méthodes d'interprétation des essais de nappes :

i. Utilisation de la formule de THEIS et de sa courbe universelle pour les nappes captives en régime transitoire :

Le professeur Américain C.V. THEIS (U.S. Geological Survey) a développé en 1935 l'équation différentielle du régime variable en fonction des conditions aux limites des nappes infinies captives non réalimentées et d'épaisseur constante (Fig.n°21).

Pour les nappes libres, la méthode de THEIS n'est applicable que sous réserve de nouvelles hypothèses simplificatrices que nous verrons plus loin.

Formule de THEIS : 
$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-v}}{v} dv$$
 ou plus simplement 
$$s = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{T} W(u)$$

Avec 
$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-v}}{v} dv$$
 fonction de puits connue fonction de 
$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

- s : rabattement dans le piézomètre en m ;
- Q : débit de pompage du puits en m<sup>3</sup>/s ;
- T : transmissivité en m<sup>2</sup>/s ;
- S : coefficient d'emmagasinement ;
- t : temps en s ;
- W(u) : peut-être calculé à partir d'une table des fonctions exponentielles intégrales.

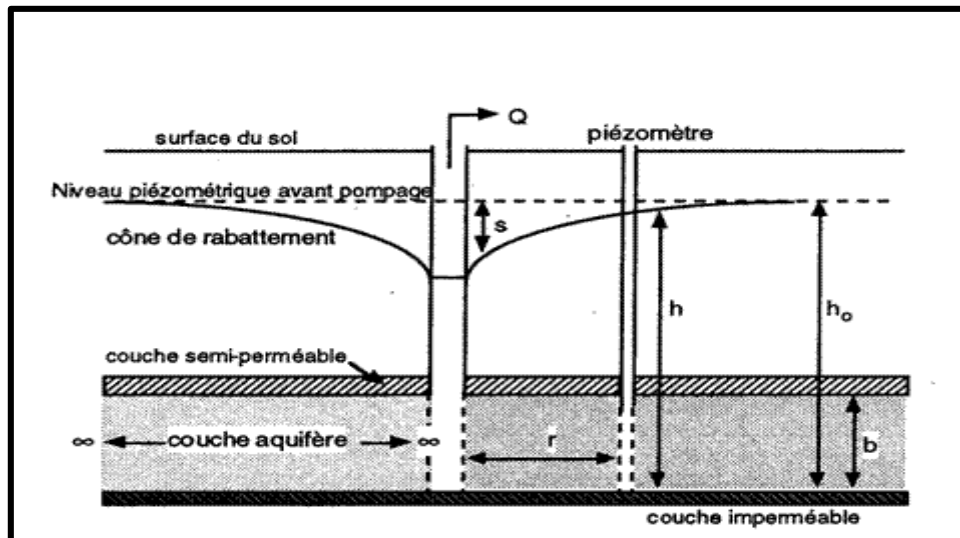


Fig.n° 20 : Puits parfait en nappe captive.

- ❖ Cette méthode est toujours applicable à condition que  $1/u$  dépasse 0,05.
- ❖ L'aquifère doit répondre aux mêmes conditions que pour les essais stabilisés (perméabilités uniformes, épaisseur constante, formation infiniment étendue, pénétration totale du puits de pompage dans l'aquifère, ...).

Formule de THEIS :  $s = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{T} W(u)$  et  $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

- $r$  : distance du piézomètre de contrôle avec le puits de pompage ;
- $T$  : transmissivité en  $m^2/s$  ;
- $t$  : temps depuis le début du pompage.

Le calcul de la transmissivité  $T$  et du coefficient d'emmagasinement  $S$  se fait avec la formule de THEIS en utilisant sa courbe universelle.

Tracer sur une échelle bilogarithmique  $W(u)$  en fonction de  $1/u$  (Fig.n°21 : Courbe universelle de THEIS) ;



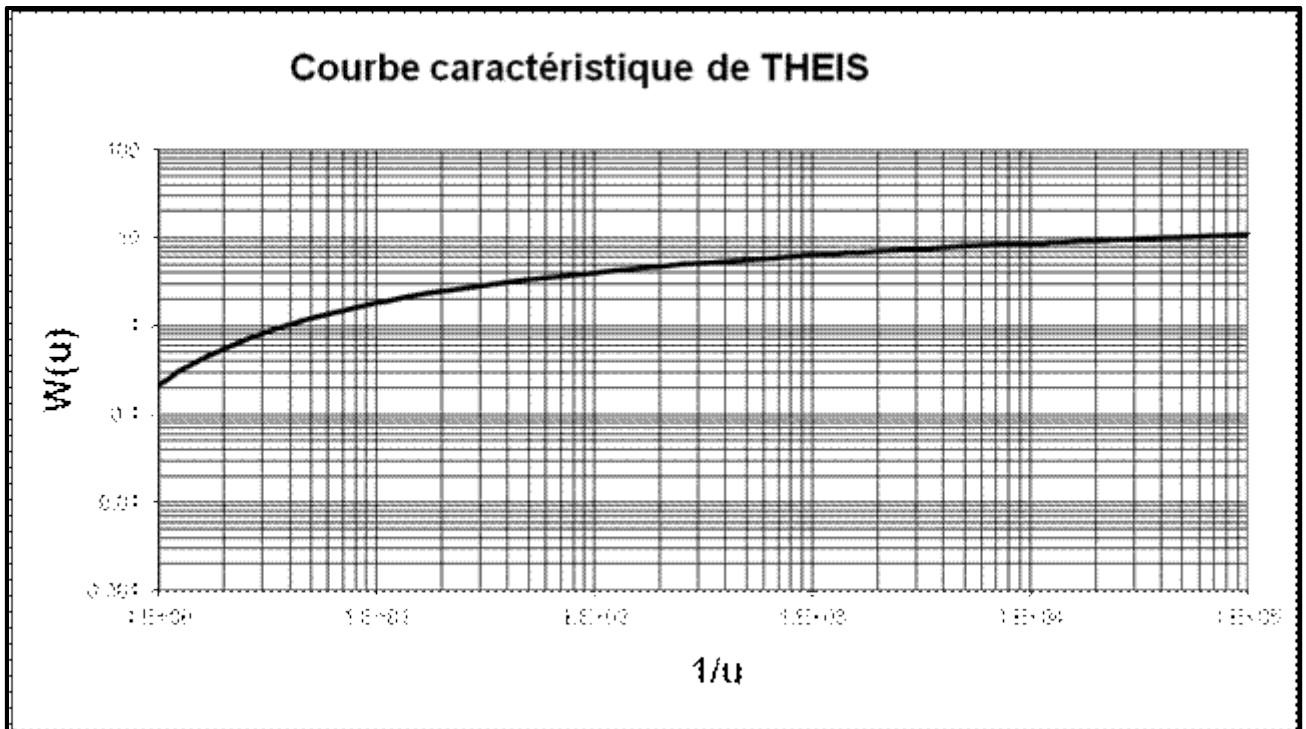


Fig.n°21 : Courbe universelle de THEIS.

En superposant les deux graphiques (Fig.n°:22), en gardant les axes parallèles pour faire coïncider les courbes le plus justement possible, on choisit un point P commun et on lit ses coordonnées dans les deux graphiques.

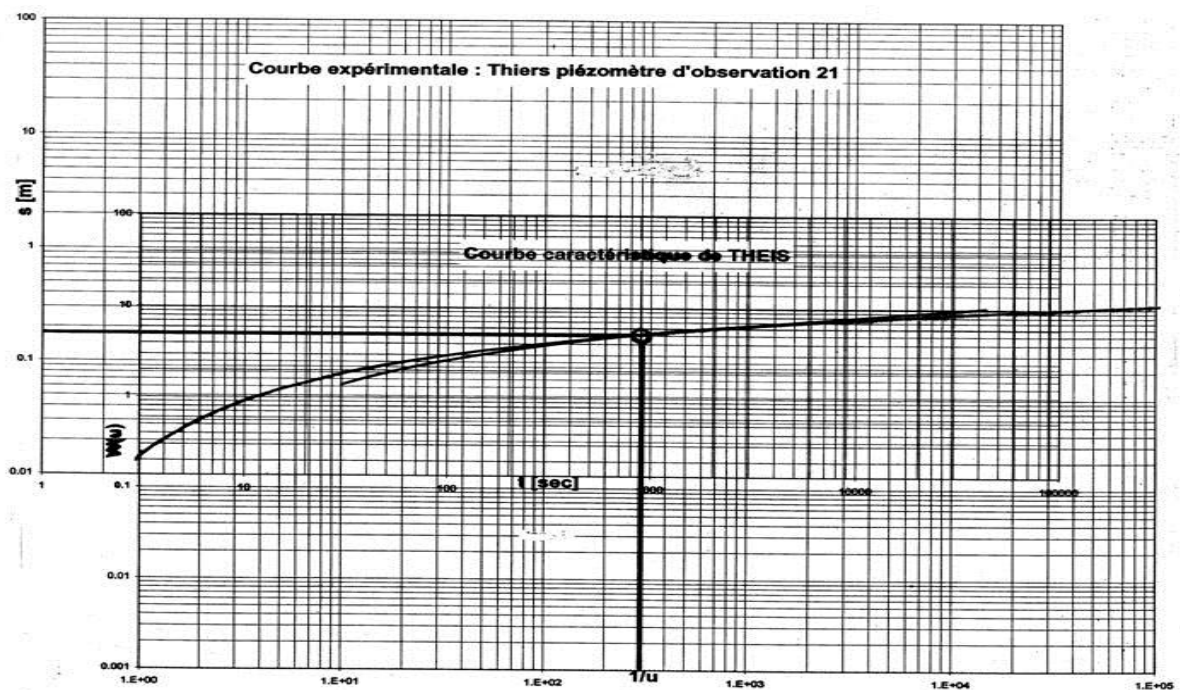


Fig.n°22 : superposition des courbes caractéristique de Theis et courbe expérimentale.

Connaissant Q et r, on en déduit T :  $T = \frac{Q}{4\pi} \frac{W(u)}{s}$  et S :  $S = \frac{4\pi T t}{r^2}$

**f. Interprétation des essais de pompages de courte durée et longue durée :**

*i. Forage El Wifak n°03 (Hassi Ben Abdallah):*

Le forage El Wifak n°03 se situe dans le périmètre agricole EL WIFAK à 600m côté gauche de la route carrefour Ouargla Touggourt vers Hassi Messaoud.

L'essai a été réalisé a duré 56 heures pour la remontée avec un débit constant de 30l/s (Annexe n° :09)

**Tableau n° 17: Résultats de pompage d'essai par paliers du forage EL Wifak n°03.**

<i>Paliers</i>	<i>Niveau dynamique (m)</i>	<i>Rabattement Δ(m)</i>	<i>Débit (l/s)</i>
<b>Paliers n°1</b>	<b>27.13</b>	<b>02.07</b>	<b>10</b>
<b>Paliers n°2</b>	<b>30.15</b>	<b>05.09</b>	<b>20</b>
<b>Paliers n°3</b>	<b>31.42</b>	<b>06.36</b>	<b>25</b>
<b>Paliers const.</b>	<b>31.62</b>	<b>06.56</b>	<b>30</b>

❖ **La courbe caractéristique n°01 :**(Fig.n°24) montre que :

- Le débit critique Qc est celle de 25 l/s.

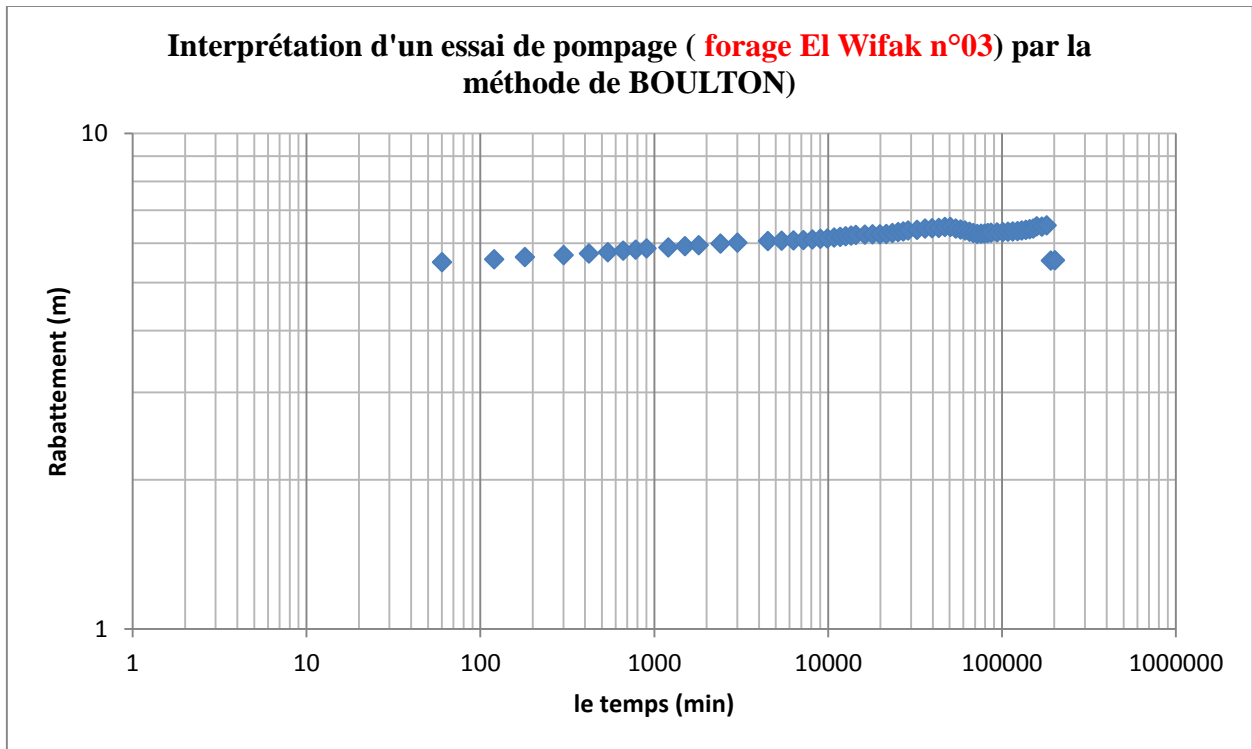


Fig.n°23 : la courbe expérimentale de forage El Wifak n°03.

$$\left\{ \begin{array}{l} 1/U_A : 100; U_A=0.01 \\ W(u_A) : 60 ; \\ t/r^2 : 0.657 \text{ min/m;} \\ s : 7 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$T = \frac{Q \cdot W(u_A)}{4 \cdot \pi \cdot s} = \frac{0.03 \cdot 100}{4 \cdot 3.14 \cdot 7} = 2,04 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}; \text{ donc c'est une forte transmissivité.}$$

$$S = 4 \cdot U \cdot T \cdot t / r^2 = 4 \cdot 0.01 \cdot 2.04 \cdot 10^{-2} \cdot 60000 / (39)^2 = 3,21 \cdot 10^{-2}$$



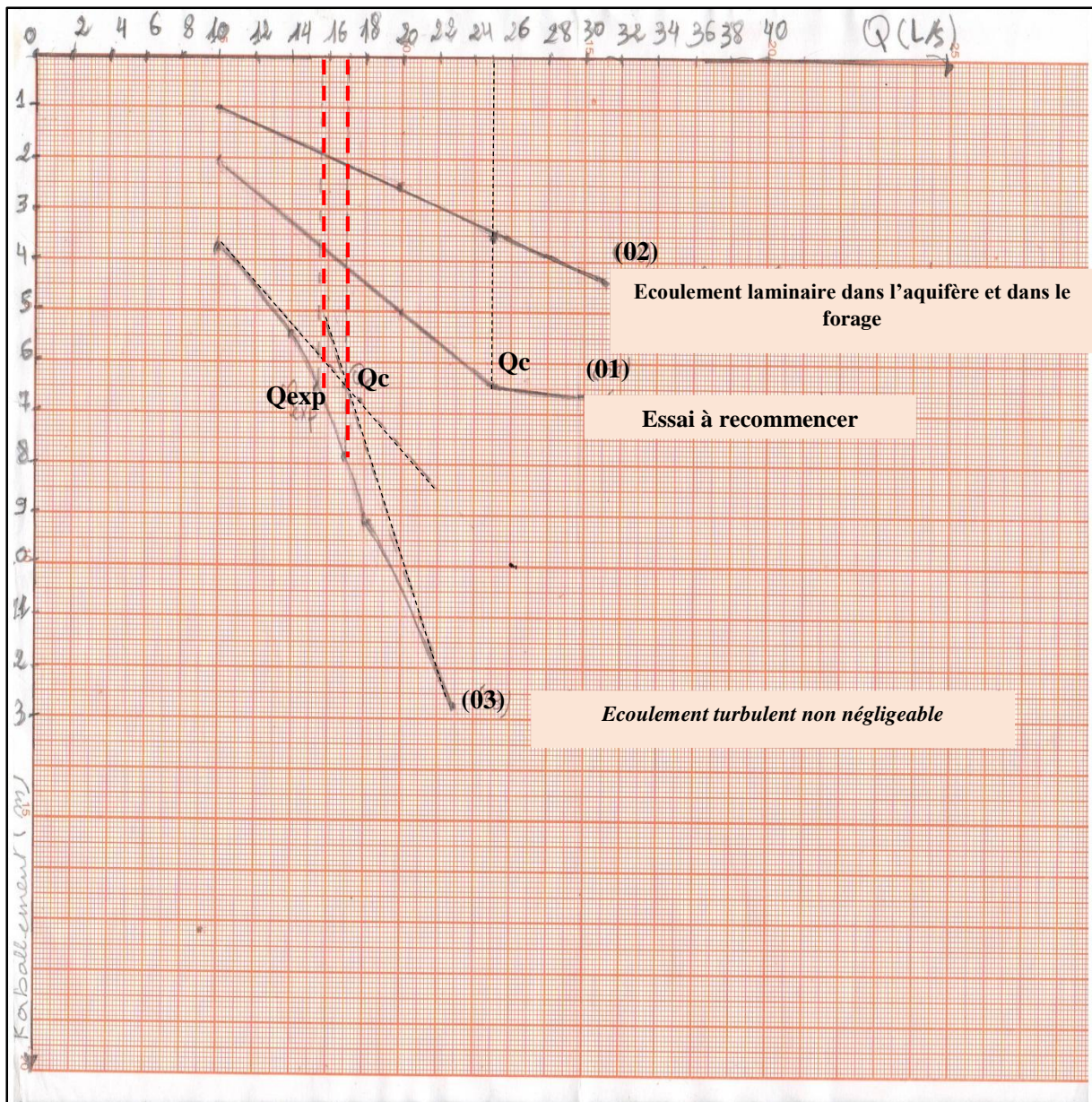


Fig.n°24 : courbes caractéristiques d'essais par paliers.

**ii. Forage El Wifak n°2 (Sidi Khouiled) :**

Le forage El Wifak n°2 se situe dans le périmètre agricole EL WIFAK à 600m côté gauche de la route carrefour Ouargla Touggourt vers Hassi Messaoud.

L'essai a été réalisé a duré 56 heures pour la remontée avec un débit contant de 31 l/s (Annexe n° :09).

**Tableau n°18 : Résultats de pompage d'essai par paliers du forage El wifak n° :02.**

<i>Paliers</i>	<i>Niveau dynamique (m)</i>	<i>Rabatement <math>\Delta(m)</math></i>	<i>Débit (l/s)</i>
<b>Paliers n°1</b>	<b>27.66</b>	<b>01.12</b>	<b>10</b>
<b>Paliers n°2</b>	<b>29.07</b>	<b>02.53</b>	<b>20</b>
<b>Paliers n°3</b>	<b>30.10</b>	<b>03.56</b>	<b>25</b>
<b>Paliers const.</b>	<b>30.86</b>	<b>04.32</b>	<b>31</b>

❖ **la courbe caractéristique n°02** montre que :

- la courbe linéaire ;
- le débit exploitation supérieure à 31 l/s ;
- l'écoulement dans l'aquifère et dans le forage est laminaire
- les pertes de charges sont nulles ou négligeable.

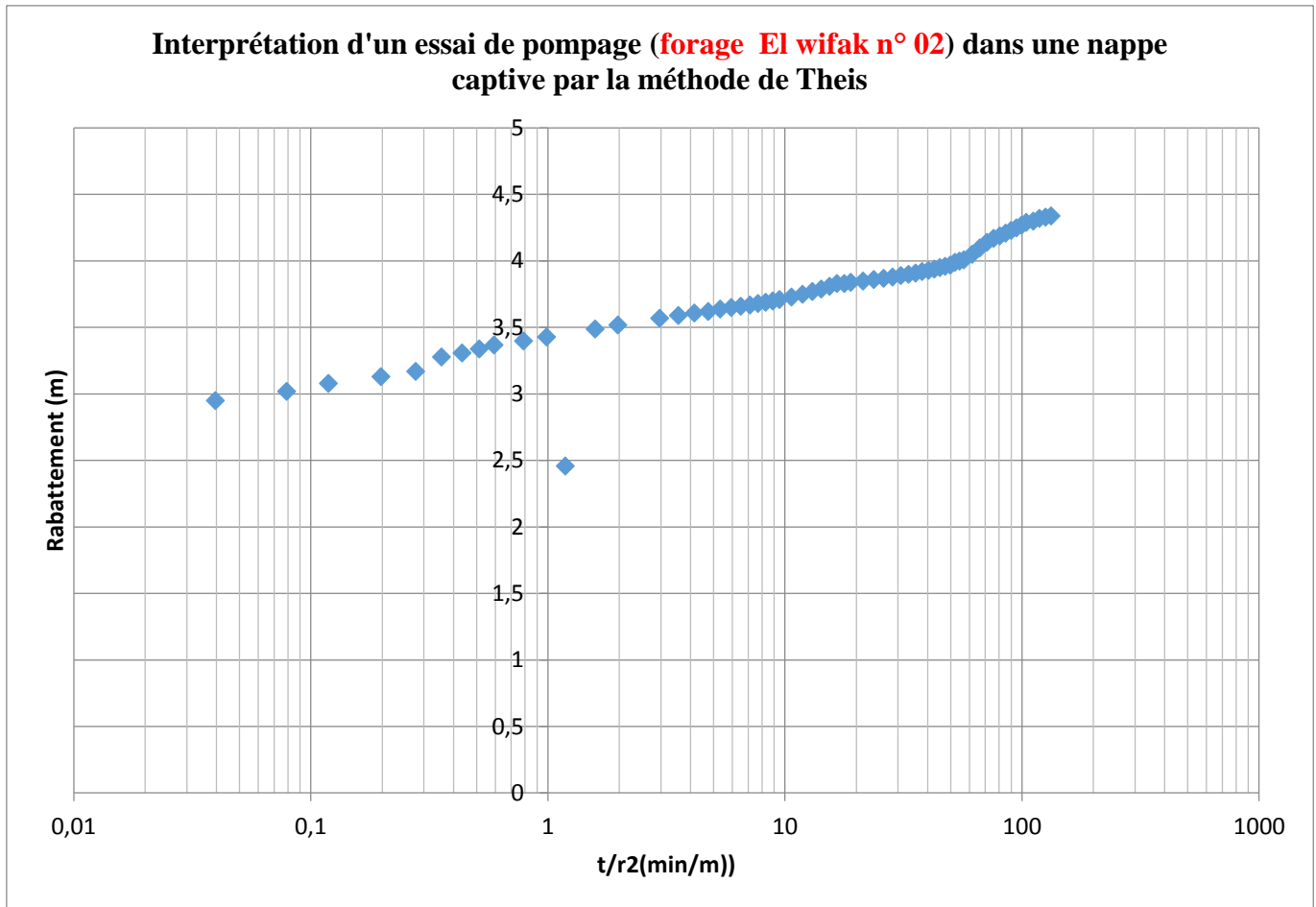


Fig.n°25 : la courbe expérimentale de forage El Wifak n°02.

$$\left\{ \begin{array}{l} 1/U : 40 ; U=0.025 \\ W(u) : 3 ; \\ t/r^2 : 1 \text{ min/m}; \\ s : 3.4 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$T = \frac{Q}{4\pi} * \frac{W(u)}{s} = \frac{31.10^{-3}}{12.56} * \frac{3}{3.4} = 2,17. 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}. \text{ Donc c'est une transmissivité moyenne.}$$

$$S = 4.U.T.t/ r^2 = 4*0.025*2.17.10^{-3} *1 = 2,17.10^{-4}$$

**iii. Forage Ain Kadour :**

Le forage Ain Kadour se situe dans la palmeraie de la commune Ain Beida Daïra de Sidi Khouiled Wilaya de OUARGLA.

L'essai a été réalisé a duré 56 heures pour la remontée avec un débit constant de 23 l/s (Annexe n° :09).

**Tableau n°19 : Résultats de pompage d'essai par paliers du forage Ain Kadour.**

<i>Paliers</i>	<i>Niveau dynamique (m)</i>	<i>Rabatement <math>\Delta(m)</math></i>	<i>Débit (l/s)</i>
<b>Paliers n°1</b>	<b>15.39</b>	<b>03.79</b>	<b>10</b>
<b>Paliers n°2</b>	<b>17.02</b>	<b>05.42</b>	<b>14</b>
<b>Paliers n°3</b>	<b>20.80</b>	<b>09.20</b>	<b>18</b>
<b>Paliers const.</b>	<b>24.30</b>	<b>12.70</b>	<b>23</b>

❖ **La courbe caractéristique n°03** montre que :

- La courbe convexe ;
- Le débit critique est celle de 15 l/s ;
- Le débit exploitation égale de 13.5 l/s ;
- Les pertes de charges dues à l'écoulement turbulent ne sont pas négligeables ;
- Il est recommandé d'exploitation le forage à un débit inférieur ou égal au débit critique.

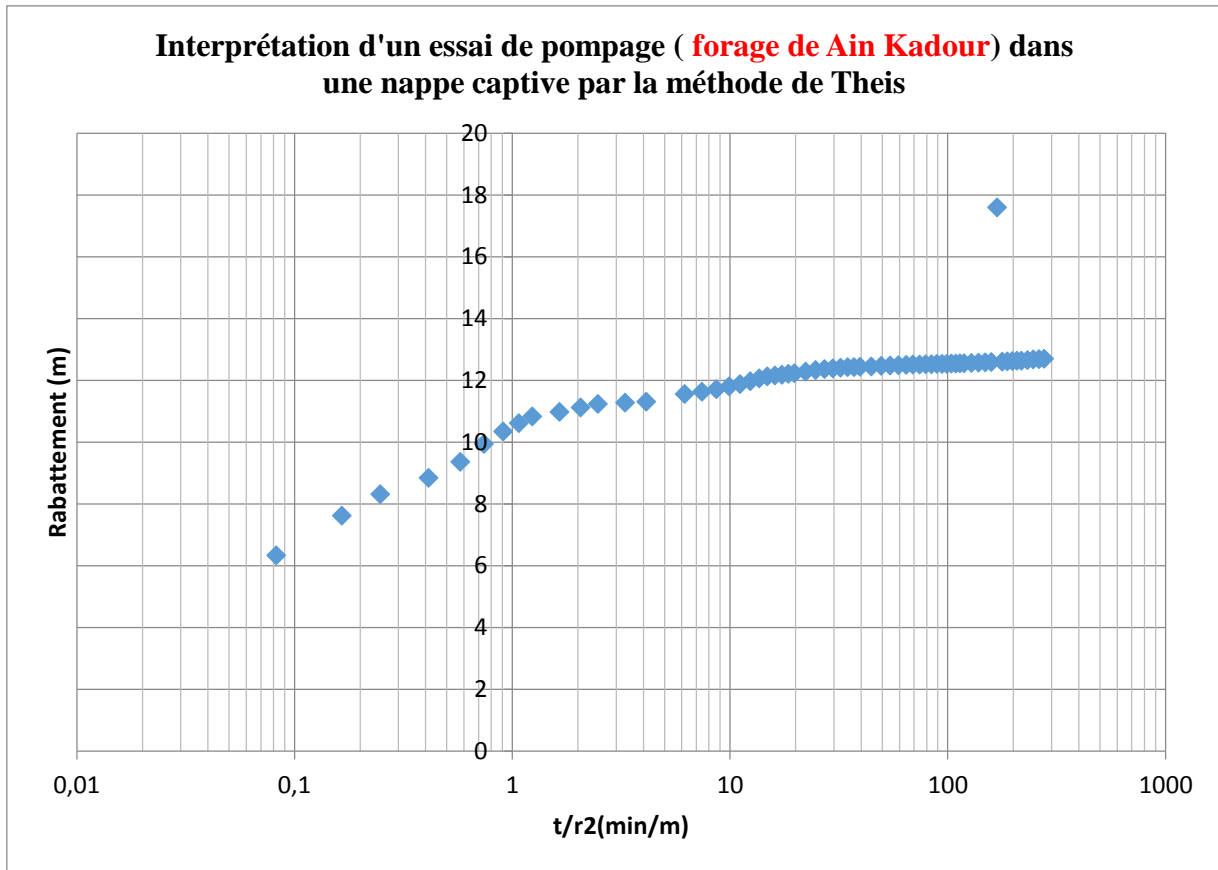


Fig.n°26 : la courbe expérimentale de forage Ain Kadour.

$$\left[ \begin{array}{l} 1/U : 20 ; U=0.05 \\ W(U) : 10 ; \\ t/r^2 : 3 \text{ min/m;} \\ s : 14 \text{ m ;} \\ Q : 23.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \right.$$

$$T = \frac{Q}{4\pi} * \frac{W(u)}{s} = \frac{23.10^{-3}}{12.56} * \frac{10}{14} = 1,30.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}. \text{ Donc une transmissivité moyenne.}$$

$$S = 4.U.T.t/ r^2 = 4*0.05*1.30.10^{-3}*3 = 7,8.10^{-4}$$



Tableau n°20 : Résultats de la transmissivité (en m²/s) pour les 03 sites

Essai	La transmissivité (en m²/s)
El wifak n°02	2,17.10 <sup>-3</sup>
El wifak n°03	2,04.10 <sup>-2</sup>
Ain kadour	1,30.10 <sup>-3</sup>
T moyenne	1,18. 10 <sup>-2</sup>

Les transmissivités sont homogènes à chaque station d'essai. La transmissivité moyenne est de 1,18.10<sup>-2</sup> m²/s ce qu'on appelle une forte transmissivité.

**g. La diffusivité :**

La diffusivité régit la propagation d'influence dans l'aquifère, elle est caractérisé la vitesse de réaction d'un aquifère lors d'une perturbation, (plus la valeur est élevés plus la nappe est dite nerveuse).

$$D = \frac{T}{s}$$

- D : la diffusivité en m²/s ;
- T : la transmissivité en m²/s ;
- s : le coefficient d'emmagasinement.

Tableau n°21: Résultats de la diffusivité (en m²/s) pour les 03 sites.

Essai	Diffusivité (m²/s)
El wifak n°02	10
El wifak n°03	0.63
Ain Kadour	0.028
D moyenne	3.55

**h. la perméabilité :**

$$T = K * e \ ; \ \text{donc } K = T/e$$

Tableau n°22 : Résultats de la perméabilité (en m/s) pour les 03 sites.

Essai	Epaisseur (m)	Perméabilité (K) en m/s
El wifak n°02	42	5,1.10 <sup>-4</sup>
El wifak n°03	43	4,74.10 <sup>-4</sup>
Ain kadour	36	3.10 <sup>-5</sup>
K moyenne	/	3,38.10 <sup>-4</sup>

La perméabilité moyenne est de 3,38.10<sup>-4</sup>m/s. Ces valeurs correspondent à des sols de moyenne perméabilité.

### i. Porosités efficaces :

La porosité efficace a été considérée comme équivalente au coefficient d'emmagasinement (S) pour la nappe du complexe terminal.

## 6. Rabattements (2000- 2050) au CT :

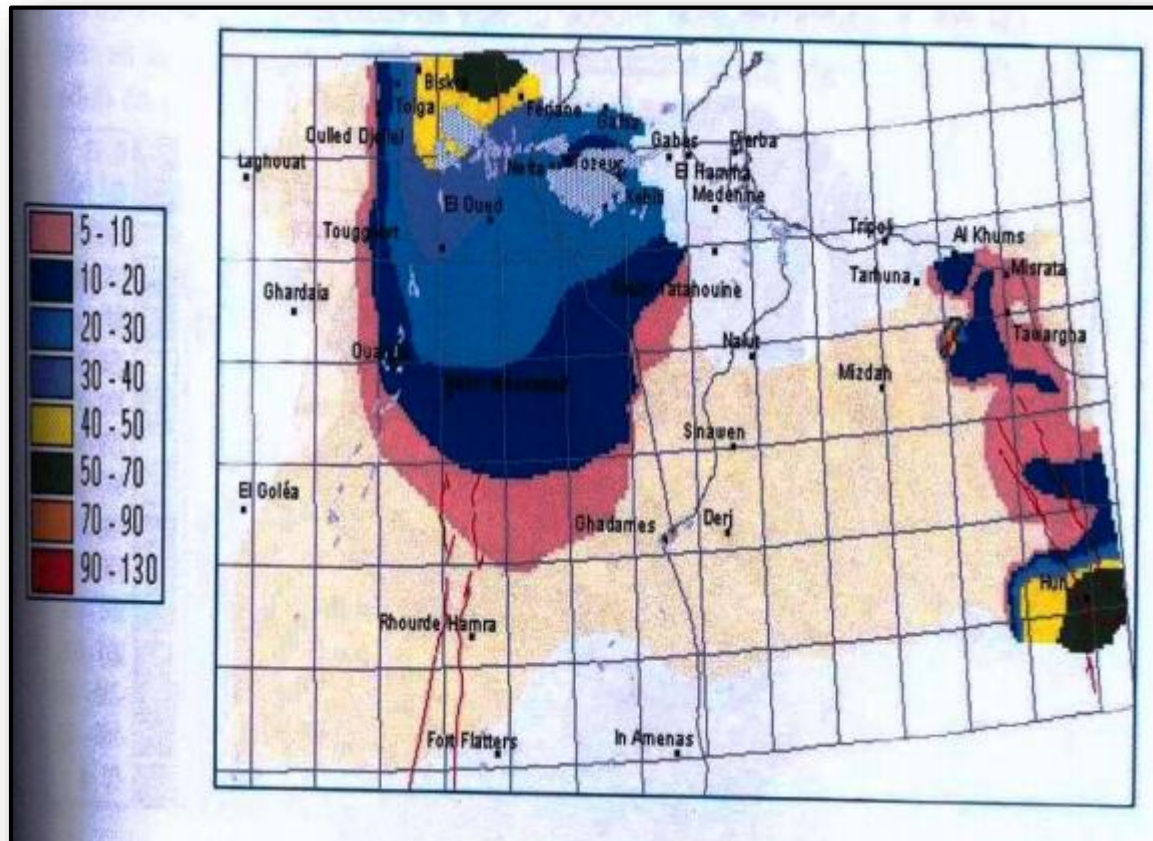


Fig.n°27 : Rabattements 2000 – 2050 au CT (en m) (D'après simulation SASS 2003).

### ❖ Interprétation :

On constate que il y'a un rabattement de CT de la vallée de Ouargla (Fig.n°26) compris entre 5 à 20 m, cette nappe connaissait le phénomène d'artésianisme pendant les années quatre-vingts.

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.

### 7. Etude piézométrique :

A l'aide de logiciel Arc Gis, nous avons réalisé la carte piézométrique de la nappe du Complexe Terminal à partir de 15 forages (2014) destinés à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation (Annexe n° : 04).

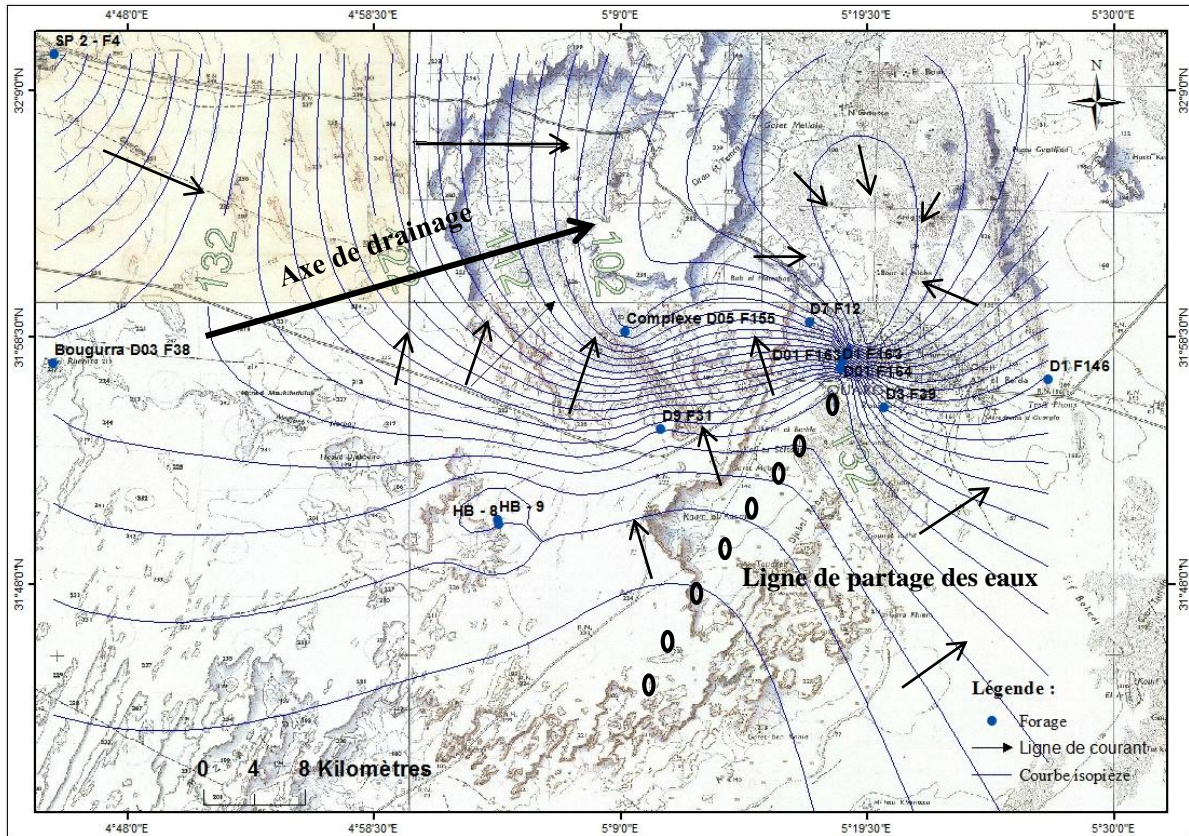


Fig.n°28 : la carte piézométrique de la nappe Complexe Terminal, 2017.

#### ❖ Interprétation de la carte :

Sur la carte piézométrique, nous pouvons constater :

- ✓ Au Sud, une ligne de partage des eaux ;
- ✓ Au Nord de Ouargla une dépression piézométrique due à l'exploitation des eaux de la nappe (zone à grande implantation de forages) ;
- ✓ A l'Ouest de Ouargla, un axe de drainage.

Le sens d'écoulement des eaux s'écoule du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers le Nord-Est.



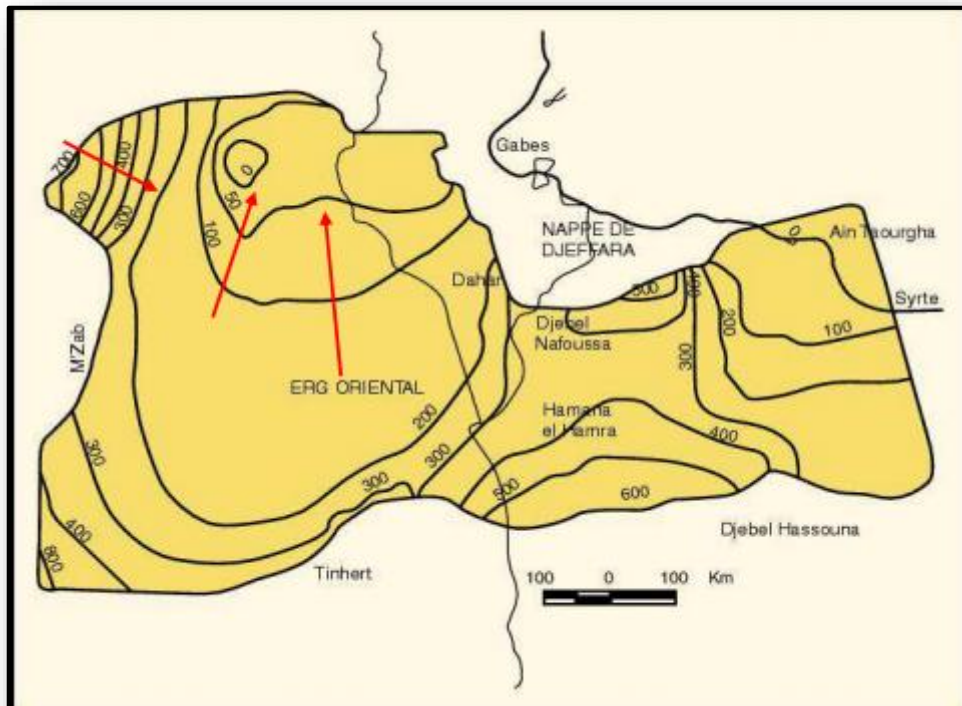


Fig.n°29: Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Complexe Terminal (OSS, 2003).

- ❖ Les niveaux piézométriques de la zone d'étude comportent eux les niveaux piézométriques de référence de l'aquifère du CT.

## 9. Conclusion :

La vallée de Ouargla a trois aquifères :

- ❖ la nappe Albienne ;
- ❖ la nappe Senono-Eocène carbonatée ;
- ❖ la nappe de Mio-pliocène.

La profondeur de la nappe Complexe Terminal varie entre 100 et 500 m qui regroupe deux aquifères (nappe de calcaire et nappe de sable).

L'étude hydrodynamique de la nappe du Complexe Terminal montre que :

- ❖ La nappe possède une forte transmissivité (de l'ordre  $1.49 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ).
- ❖ La perméabilité de Complexe Terminal comprises entre  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$  alors que Le coefficient de perméabilité moyenne est  $5.92 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .
- ❖ La diffusivité moyenne est  $0.19 \text{ m}^2/\text{s}$ .

La carte piézométrique montre que le sens d'écoulement des eaux de la nappe Complexe Terminal s'écoule du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers le Nord-Est

---

# Chapitre 03

---

*Etude hydrochimique de la  
nappe du Complexe Terminal*

---

---

**ETUDE HYDROCHIMIQUE DES EAUX**  
**SOUTERRAINES DE LA NAPPE**  
**DU COMPLEXE TERMINAL**

---

### 1. Introduction :

L'étude hydrochimique donne des informations sur les caractéristiques et la qualité des eaux souterraines en rapport avec le contexte lithologique de circulation

La qualité des eaux de la nappe a pu être précisée à partir des puits et des forages étudiés, alors que notre objectif c'est :

- ✓ Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la nappe Complexe Terminal à travers l'interprétation des caractéristiques physico-chimiques des eaux ;
- ✓ Détermination de l'origine et les différents faciès chimiques ;
- ✓ Définition de la classification des eaux souterraines de la nappe CT ;
- ✓ Approche géochimique de l'évolution des minéraux ;
- ✓ Evaluation la qualité chimiques des eaux d'irrigation ;
- ✓ Etude statistique des données hydrochimiques.

Les analyses chimiques ont été effectués au laboratoire de l'ANRH Ouargla en 2014, sont représentés dans le tableau de l'annexe n°05 et concernent :

**Les paramètres physiques :** le pH, la température, la conductivité, la minéralisation.

**Les paramètres chimiques :**

**Les cations :** Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>.

**Les anions :** Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ainsi que les mesures de la dureté et du résidu-sec.

## 2. Contrôle des analyses par la balance ionique :

Les analyses peuvent être contrôlées par la balance ionique (BI) donnée par la formule suivante :

$$BI=e = \frac{\sum r \text{ cations} - \sum r \text{ anions}}{\sum r \text{ cations} + \sum r \text{ anions}} \times 100$$

Avec  $\sum r \text{ cations}$  : C'est la quantité en réaction des cations ;

$\sum r \text{ anions}$ : C'est la quantité en réaction des anions ;

e = le pourcentage d'erreur en %.




-  Si e % < 2% bonne analyse ;
-  2% < e < 5% analyse acceptable ;
-  e > 5% mauvaise analyse.

Tableau n°23 : calcul d'erreur sur les analyses chimiques.

N°	Forage	e%	L'analyse	N°	Forage	e%	L'analyse
F1	Mekhadma	2.51%	Acceptable	F17	Ouargla	4.54%	Acceptable
F2	Mekhadma	4.3%	Acceptable	F18	Mekhadma	3.39%	Acceptable
F3	Mekhadma	63.78%	Mauvaise	F19	Rouissat	4.32%	Acceptable
F4	Mekhadma	16.64%	Mauvaise	F20	Sidi khouiled	1.52%	Bonne
F5	Mekhadma	3.99%	Acceptable	F21	Sokra	3.41%	Acceptable
F6	Mekhadma	0.75%	Bonne	F22	Sokra	0.36%	Bonne
F7	Mekhadma	0.36%	Bonne	F23	Rouissat	2.01%	Acceptable
F8	Beni-thour	3.84%	Acceptable	F24	Rouissat	0.12%	Bonne
F9	Beni-thour	2.5%	Acceptable	F25	Chott	1.54%	Bonne
F10	Ouargla	2.4%	Acceptable	F26	N'goussa	0.49%	Bonne
F11	Ouargla	0.8%	Bonne	F27	N'goussa	2.54%	Acceptable
F12	Ouargla	4.33%	Acceptable	F28	El bour	4.05%	Acceptable
F13	Mekhadma	3.42%	Acceptable	F29	N'goussa	3.35%	Acceptable
F14	Saïd otba	3.14%	Acceptable	F30	Sidi Ben Abdellah	3.01%	Acceptable
F15	Ouargla	4.68%	Acceptable	F31	Sidi Ben Abdellah	2.35%	acceptable
F16	Ouargla	4.04%	acceptable	F32	Sidi Ben Abdellah	7.33%	mauvaise

## 3. les logiciels utilisés :

### a. le logiciel DIAGRAMME :

Le logiciel DIAGRAMMES utilisé a été créé par Roland SIMLER (**fig.n°30**) du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation des analyses d'eau.



Ces fonctions sont variées et complètes, en voici quelques-unes: classifications les faciès chimiques, classification d'eau potable et d'irrigation et construire les diagrammes suivantes :

- ✓ Piper ;
- ✓ Berkaloff Schöeller ;
- ✓ Riverside ;
- ✓ Wilcox Log.

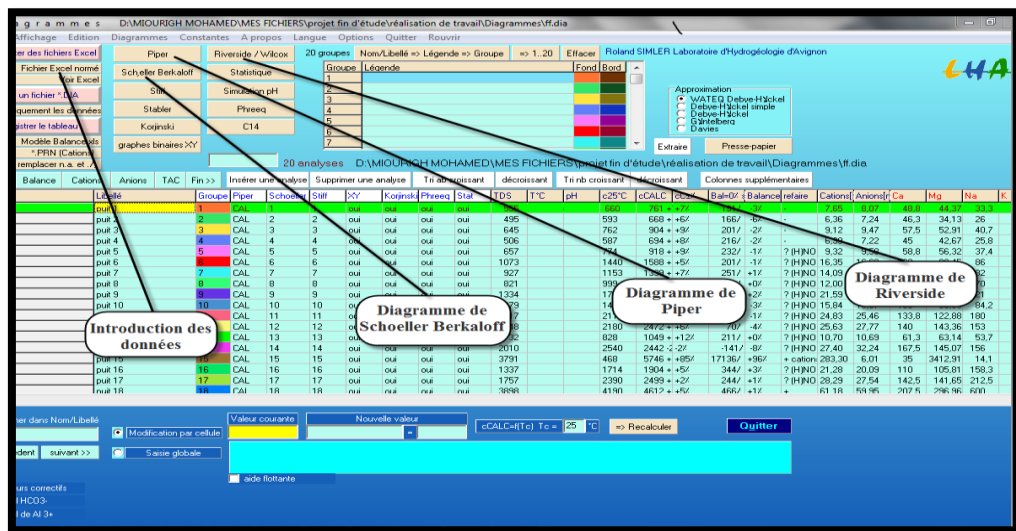


Fig. n° 30 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.

### b. le logiciel Surfer 12:

Le logiciel Surfer, conçu par Golden Software, il permet de réaliser des cartes isoteaux.

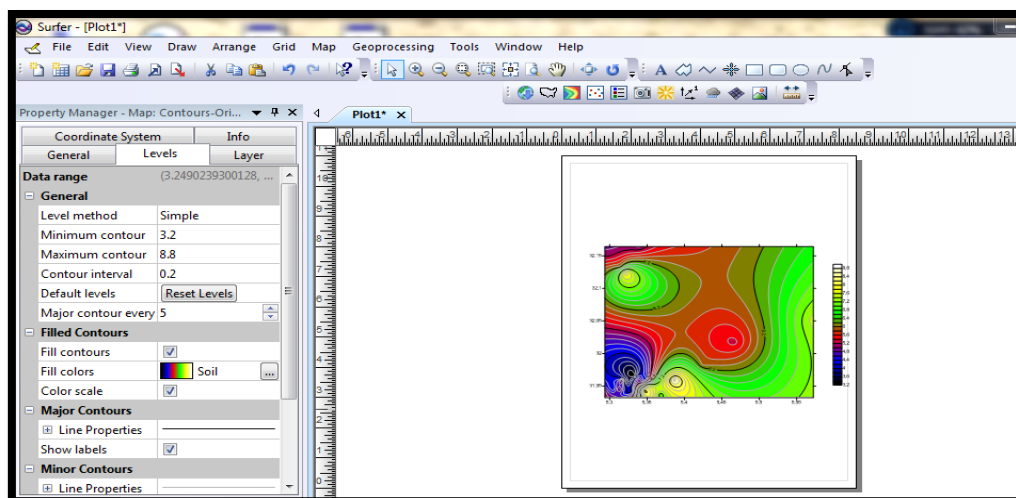


Fig. n°31: Représentation de l'interface du logiciel Surfer.

## 4. Etude des paramètres physiques :

Tableau n°24 : les paramètres physiques.

N°	Nom	Résidu_Sec	TH	pH	Cd (mmho/cm)	T (°C)	Minéralisation
F1	Mekhadma	2182	86,6	7,75	4,364	23	1677,4
F2	Mekhadma	2572	102	8,08	5,144	22	2887
F3	Mekhadma	1724	85	8,4	3,448	23,5	1973
F4	Mekhadma	1868	98,6	7,67	3,736	22,6	1480,05
F5	Mekhadma	2134	87,3	7,75	4,268	24	1631,85
F6	Mekhadma	2554	105	8,34	5,108	23,23	2839
F7	Mekhadma	1848	99,6	7,8	3,696	23,2	1338,38
F8	Beni-Thour	4152	141,9	7,88	8,304	23	3028,41
F9	Beni-Thour	2064	91	8,4	4,128	22,5	1738
F10	Ouargla	2462	114,7	7,83	4,924	24,5	183,78
F11	Ouargla	2172	90	7,66	4,344	23	1609,08
F12	Ouargla	2132	106,1	7,75	4,264	23,5	1578,72
F13	Mekhadma	2074	95	8,87	4,148	25	2042
F14	Said Otba	1760	94,9	7,7	3,52	23,5	1335,84
F15	Ouargla	1946	105,5	8	3,892	22,5	1480,05
F16	Ouargla	1616	81	7,7	3,232	23	1586
F17	Ouargla	2594	134	7,7	5,188	25	2831
F18	Mekhadma	2842	123,9	7,8	5,684	22,3	2132,8
F19	Rouissat	3512	153	7,76	7,024	23	2679,27
F20	Sidi Kouiled	2982	98,5	7,72	5,964	22,5	2337,72
F21	Sokra	2192	95	7,5	4,384	25,2	2823
F22	Sokra	1980	86,8	7,74	3,96	25	1563,54
F23	Rouissat	3506	169	7,59	7,012	22,3	2957
F24	Rouissat	4002	144	8,14	8,004	23	3658
F25	chott	4370	167	8,38	8,74	24	3939
F26	N'goussa	3980	153	8,12	7,96	20	3894
F27	N'goussa	2566	131		5,132	22	2285
F28	El Bour	2478	97,1	7,87	4,956	23	1905,1
F29	N'goussa	2982	122	8,16	5,964	23,5	2755
F30	Hassi Ben Abdellah	3748	151	8,27	7,496	32,56	3378
F31	Hassi Ben Abdellah	2666	131,4	7,77	5,332	24	1981
F32	Hassi Ben Abdellah	2670	117,7	7,83	5,34	23	1889,91

**a. Le potentiel hydrogène (pH):**

Le potentiel hydrogène est par définition une mesure de l'activité des ions H<sup>+</sup> contenus dans une eau :

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

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

- [H<sup>+</sup>] < [OH<sup>-</sup>]    →    pH>7 : l'eau est basique ;
- [H<sup>+</sup>] > [OH<sup>-</sup>]    →    pH<7 : l'eau est acide ;
- [H<sup>+</sup>] = [OH<sup>-</sup>]    →    pH=7 : l'eau est neutre.

L'examen des mesures de pH sur les échantillons d'eau prélevés montre des pH compris entre 7.5 (Forage 21) et 8.87 (forage13), ce qui reflète un caractère plus ou moins basique des eaux de la nappe Complexe Terminal.

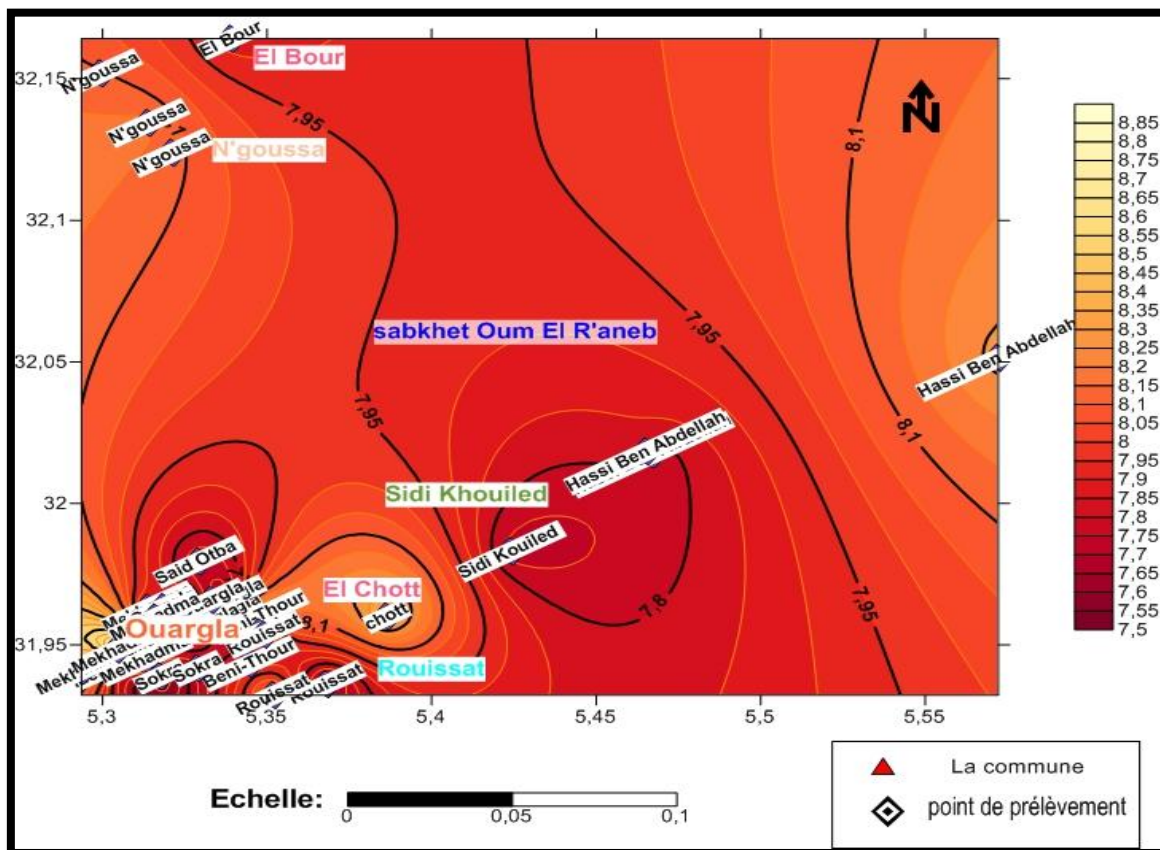


Fig.n°32: carte isopH.

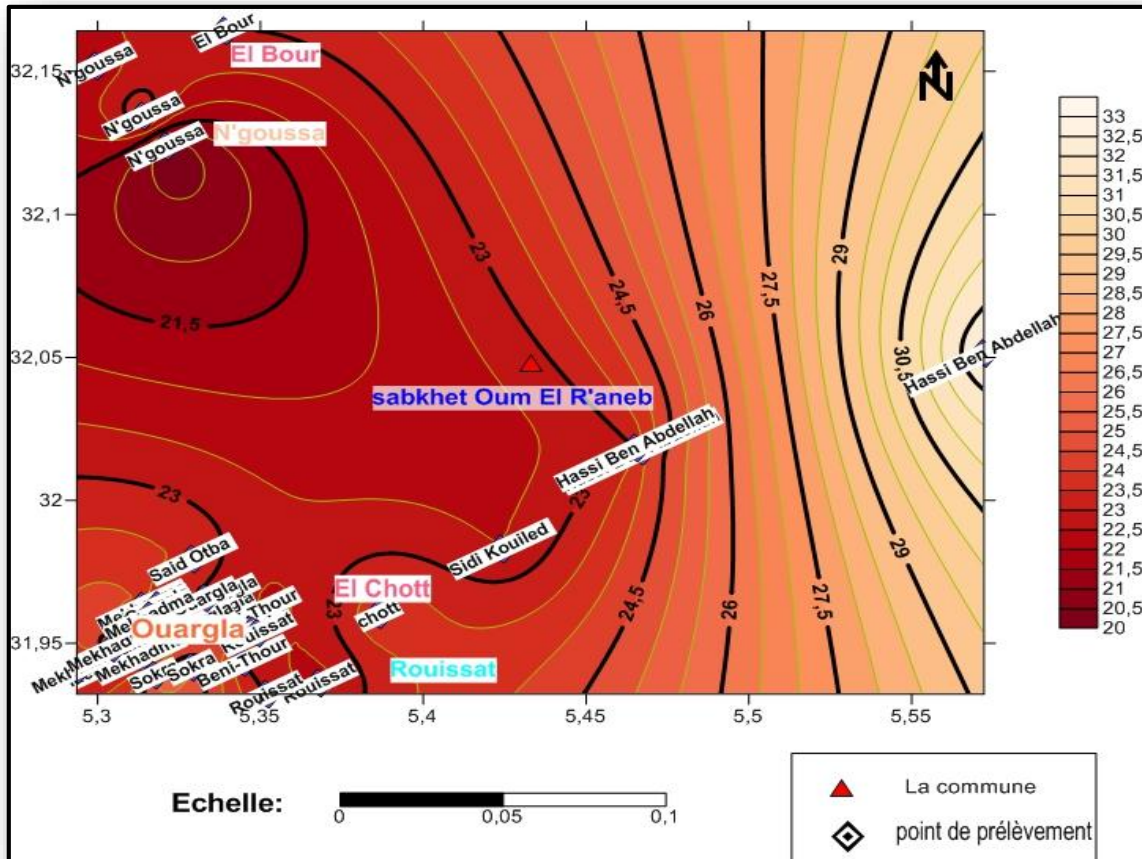
**b. La température :**

La température joue un rôle principal dans la solubilité des sels et des gaz. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, les eaux de la nappe CT présentent une température qui varie entre 20°C et 32.56°C (fig.n°36).

Cette variation thermique des eaux souterraines peut être fonction de la profondeur de l'aquifère :

- ✓ Si l'aquifère est très profond comme ces eaux de la nappe CT, les eaux ne sont influencées que par le gradient géothermique ; donc une petite variation de la température ;
- ✓ Si l'aquifère est peu ou pas profond, la température des eaux sera influencée par la variation climatique.

La température de l'eau doit être mesurée in situ les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre de l'eau.



**Fig.n°33: carte isotempérature °C**

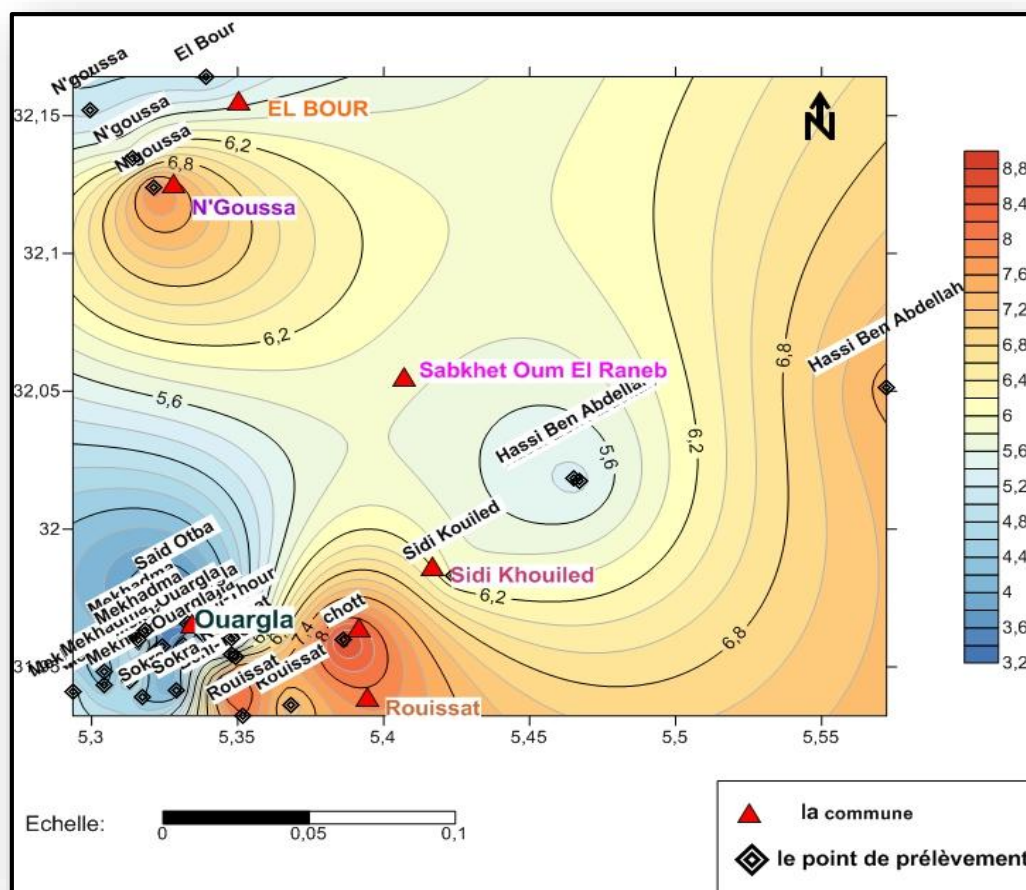
**c. La conductivité :**

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 1cm, elle exprimée en  $\mu\text{S/cm}$  ou  $\mu\text{mhos}$ , on sait qu'une eau salée est très conductrice par rapport une eau pure est très résistante, le tableau au-dessous montre que la conductivité des eaux de la nappe CT de la vallée de Ouargla ont une forte conductivité donc un degré de minéralisation très élevée.

**Tableau n°25:** Classification des eaux en fonction de la conductivité

Conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ ) à 25 °C	< 45	450 - 750	750 - 1500	1500 - 2300	2300 - 3000	> 3000
Degré de minéralisation	Très faible	Faible	Moyen	Moyennement élevé	Elevé	Très élevé



**Fig.n°34 :** carte d'isoconductivité mmho/cm.



D'après la carte (fig .n°34) montre que la conductivité électrique maximale se trouve en les commune de Chott et N'goussa alors que la conductivité minimale montre à l'Ouest de Ouargla.

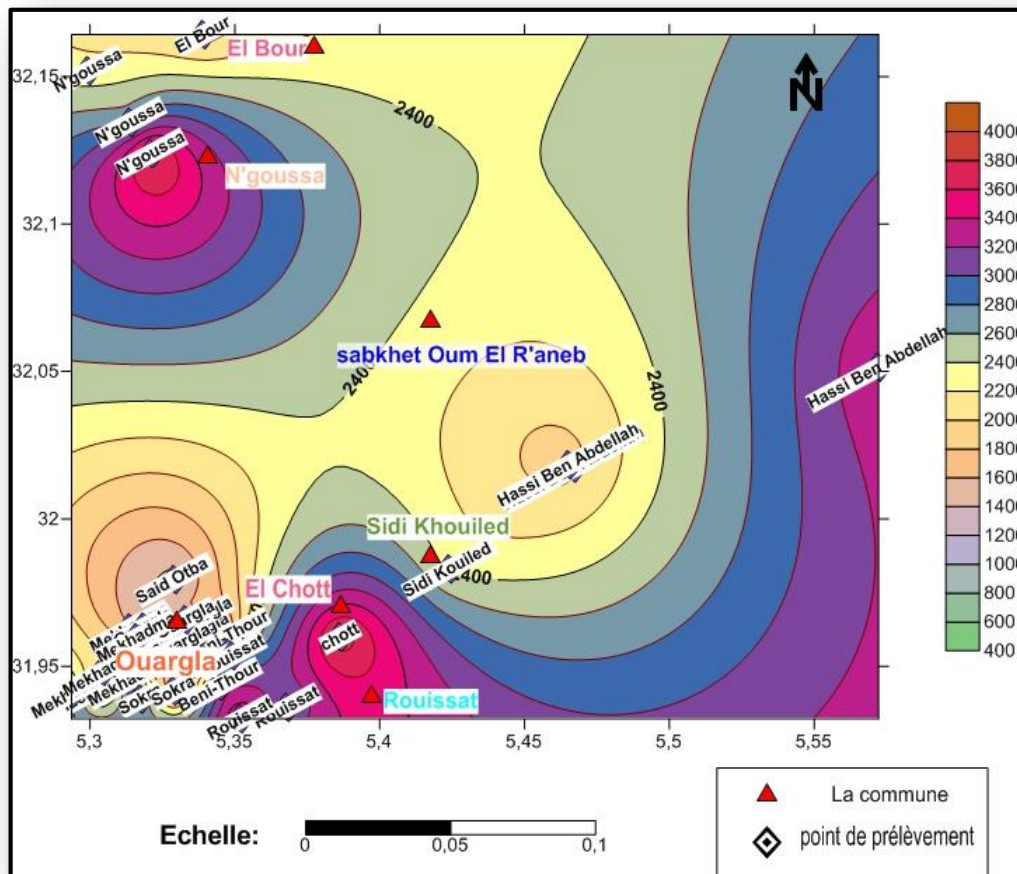
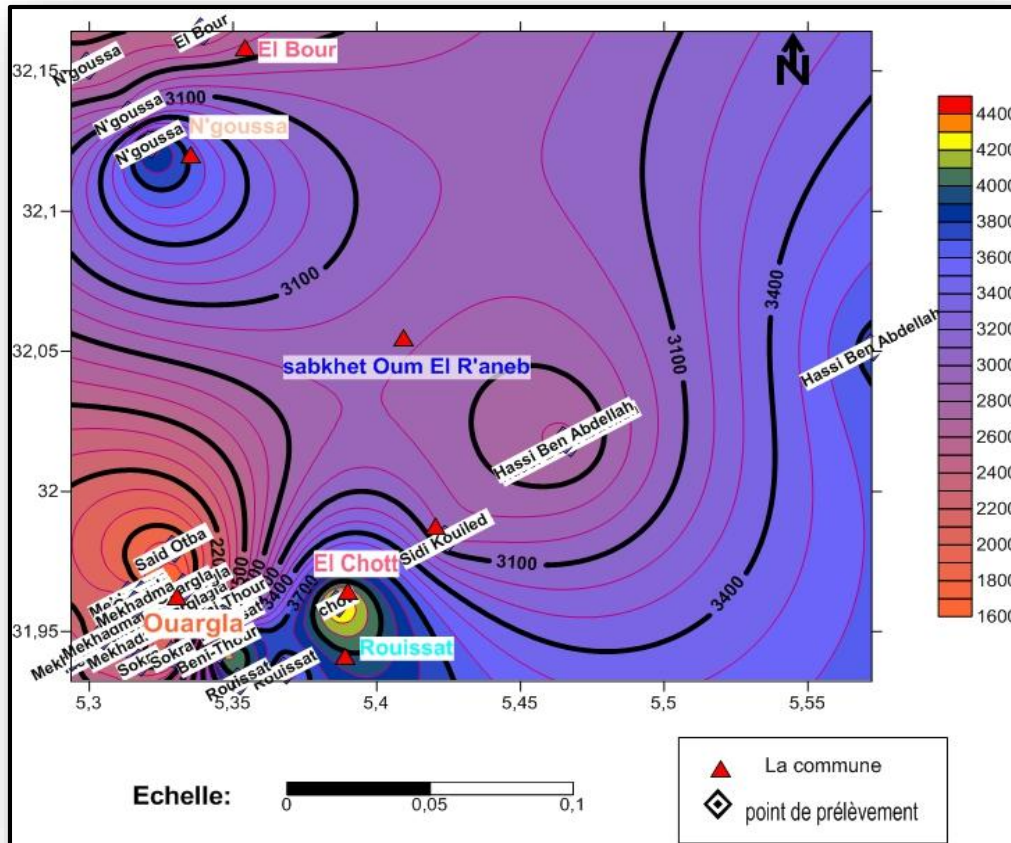


Fig.n°35: carte d'isominéralisation.

**d. Le Résidu Sec :**

Il représente la minéralisation totale de l'eau. Soit la totalité des sels dissous et des matières organiques contenus dans l'eau, la nappe CT présente résidus secs assez élevés .



**Fig.n°36 : carte d'isorésidu-sec.**

La carte indique que le Résidu-sec minimal se trouve en la ville de Ouargla, Mekhadma, Beni Thour, alors que le résidus-sec maximal se trouve en la commune de Chott.

## 5. Etude des paramètres chimiques :

Tableau n°26: les paramètres chimiques

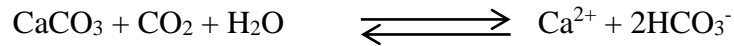
N°	Nom	Ca	Mg	K	Na	CL	So4	HCo3	No3
F1	Mekhadma	173,8	104,94	17	407,5	532,5	787,5	98	42
F2	Mekhadma	233	105	24	465	790	650	105	11
F3	Mekhadma	70	162	14	2225	400	575	107	12
F4	Mekhadma	213,3	110,05	16	110,05	445	1025	10	48
F5	Mekhadma	172,5	107,5	17	402,5	525	837,5		25,5
F6	Mekhadma	83	203	23	400	710	788	100	10
F7	Mekhadma	213,3	112,6	15	265	435	831,25	85	37
F8	Beni-Thour	251,7	192	37,5	705	1325	1200	102	45
F9	Beni-Thour	103	159	14	263	515	720	85	41
F10	Ouargla	256,7	122,94	20	386,3	655	862,5	76	41
F11	Ouargla	160	126,71	16,5	403,6	520	931,25	79	28
F12	Ouargla	226,7	120,38	16	310	525	1000	122	40
F13	Mekhadma	105	167	17	213	450	736	128	36
F14	Said Otba	205	106,26	12	250	380	881,25	140	46,5
F15	Ouargla	220	122,94	14,5	266,3	462,5	775		56
F16	Ouargla	88	144	12	202	350	590	73	
F17	Ouargla	100	264	20	385	800	1100	88	77
F18	Mekhadma	276,7	133,15	24	465	790	937,5		49,5
F19	Rouissat	361,7	152,36	31,8	680	840	1781,25		353
F20	Sidi Kouiled	333,3	37	27,5	600	880	975	131	39
F21	Sokra	212	101	20	355	600	640	100	41
F22	Sokra	160	113,94	17,8	377,5	465	887,5	102	44
F23	Rouissat	123	336	30	445	775	1300	88	86
F24	Rouissat	163	251	30	713	1000	1440	134	19
F25	chott	180	297	31	725	1140	1390	143	18
F26	N'goussa	167	271	22	620	1125	1140	79	51
F27	N'goussa	140	234	12	265	465	1000	116	21
F28	El Bour	173,8	130,6	17	407	610	975	146	51
F29	N'goussa	143	210	15	409	800	983	134	18
F30	Hassi Ben Abdellah	150	276	24	550	875	1165	113	27
F31	Hassi Ben Abdellah	306,7	133,15	20,8	425	635	1112,5	85	44,5
F32	Hassi Ben Abdellah	266	124,15	18,3	375	715	675		34



### a. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ):

Le calcium est un élément essentiel qui joue un rôle principal d'où la dureté de l'eau potable, Le calcium provient de deux origines naturelles :

- ✓ La dissolution des roches gypseuses ;
- ✓ La dissolution des roches carbonatées.



L'apparition du calcium provient de la calcite  $\text{CaCO}_3$  qui caractérise les calcaires.

D'après les mesures qu'on a effectuées la teneur minimale de calcium est enregistrée au forage F3 en la commune de Mekhadma avec une valeur de 70 mg/l et la teneur maximale est enregistrée au forage F19 en la commune de Rouissat avec une valeur de 361.7 mg/l.

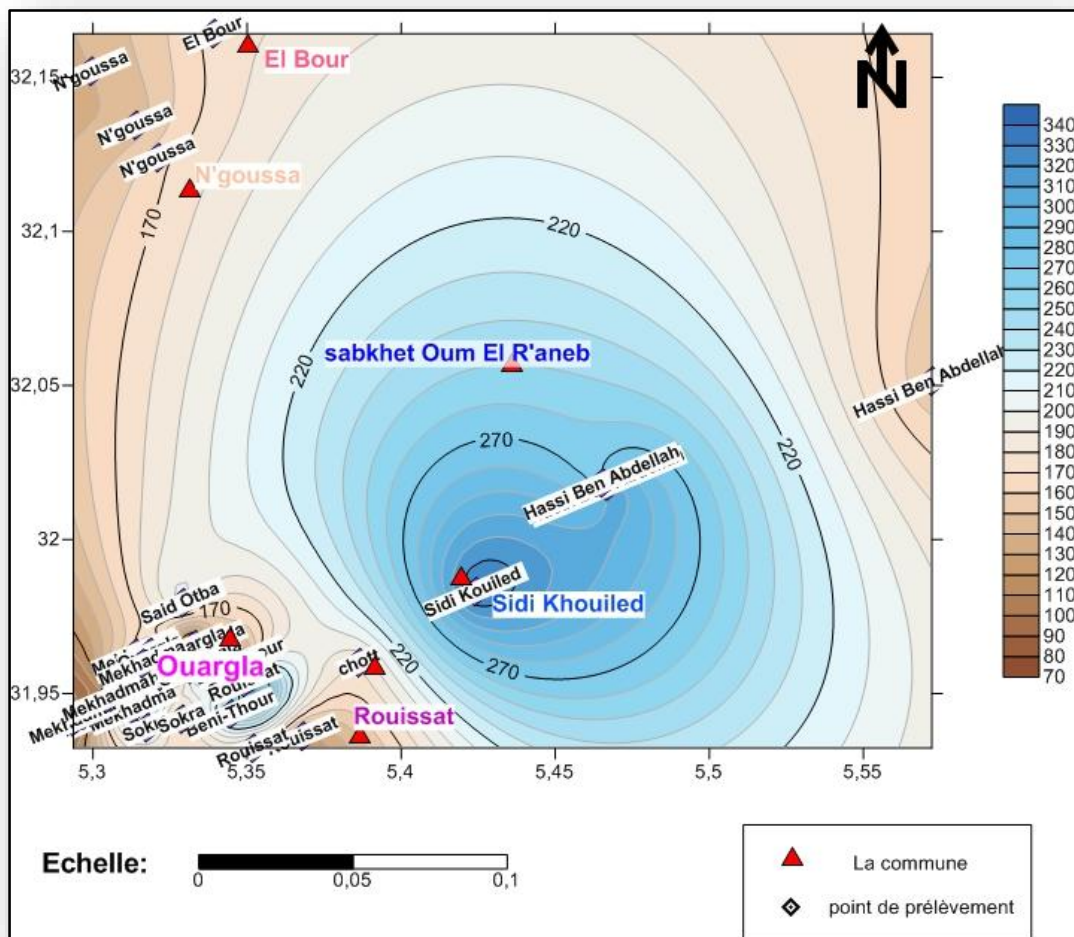


Fig.n°37: carte isoteneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/l).

### b. Magnésium ( $Mg^{2+}$ ):

Les principales sources du Magnésium c'est :

- ✓ Dans de nombreux minéraux des roches volcaniques : Olivine  $(Fe, Mg)_2 [SiO_4]$ , l'amphibole  $(Mg, Fe)_2 [Si_8O_{22} (OH, F)_2]$  et les biotites  $K (Mg, Fe)_3 [Si Al O_{10} (OH, F)_2]$  ;
- ✓ Le magnésium existe dans résulte de l'infiltration des eaux de surfaces à travers les formations dolomitiques (dissolution des formations carbonatées.)

Les eaux les moins chargées en  $Mg^{+2}$  se trouvent en centre de la carte alors que les eaux les plus chargées en cet élément se trouvent à l'est de la ville de Ouargla dans la commune de Chott et au Nord-Ouest au niveau de N'goussa.

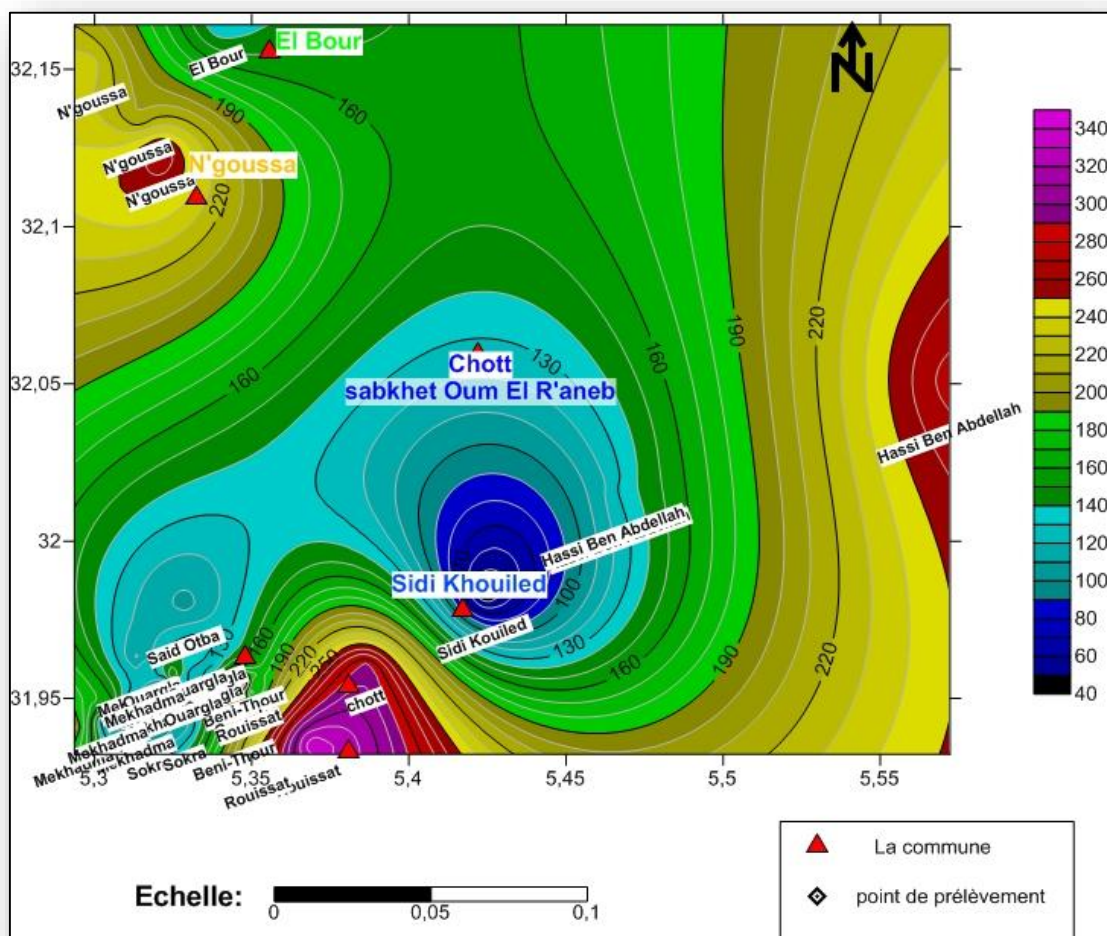
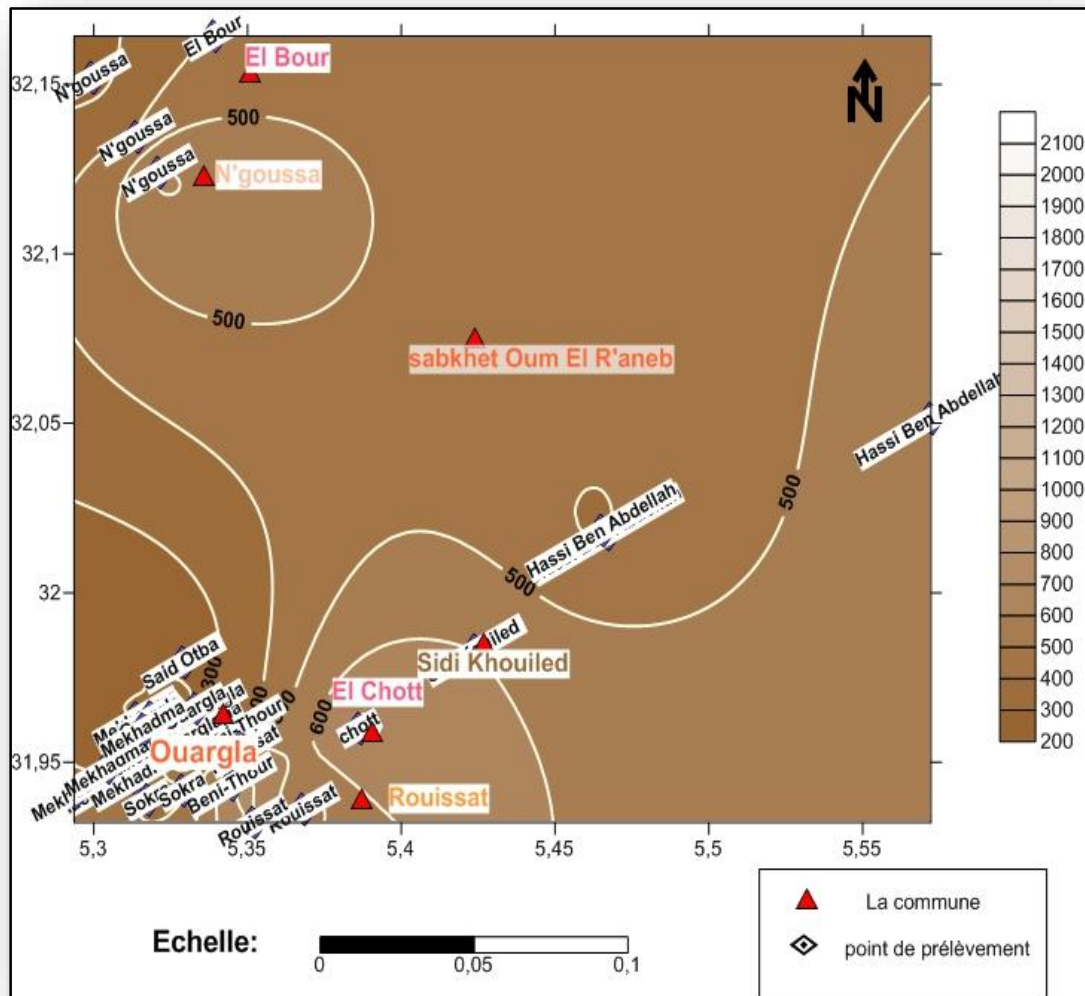


Fig.n°38: carte isoteneurs en  $Mg^{+2}$  (mg/l).

**c. Sodium et potassium (Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup>):**

La présence de ces ions de (Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup>) dans l'eau est due au lessivage des formations riches en Na et Cl (Argile-Marne) et des eaux à usage agricole ou domestique.

L'examen de la carte au-dessous se caractérise par la moindre charge en Na<sup>+</sup> sauf que la commune de Beni-thour montre une forte charge en Na<sup>+</sup>.



**Fig.n°39 : carte isoteneurs en Na<sup>+</sup> (mg/l).**

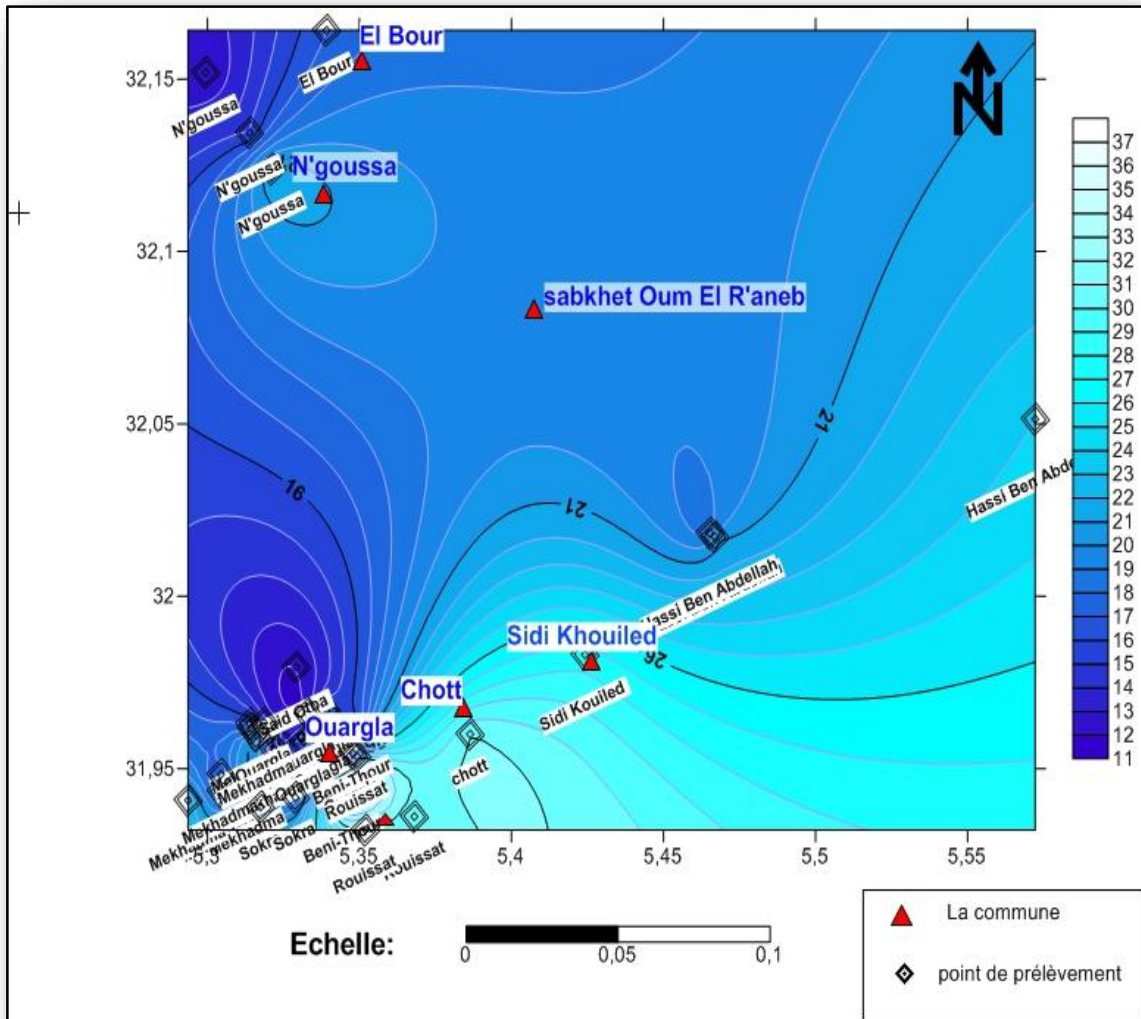


Fig.n°40: carte isoteneurs en  $K^+$  (mg/l).

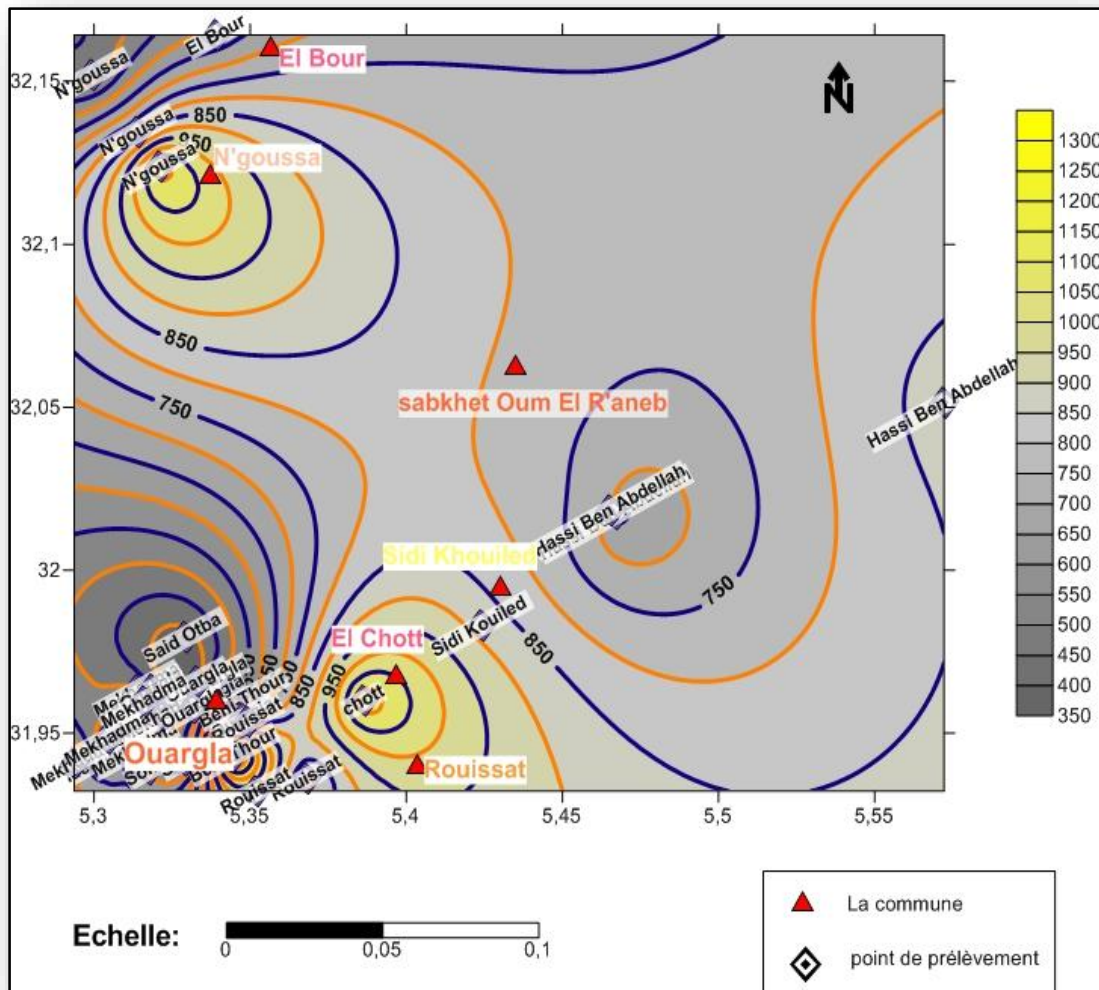
Les eaux les moins chargées en  $K^+$  se trouvent au Nord-Ouest au niveau de N'goussa, Sabkhet Oum El R'aneb et au Sud de la ville de Ouargla, alors que les eaux les plus chargées en cet élément se localisent au Sud-Est de la ville de Ouargla et Sidi Khouiled.



**d. Chlorure (Cl<sup>-</sup>) :**

Les origines des chlorures dans les eaux :

- ❑ **Les interactions eau/roche**, de nombreuses roches ignées et volcaniques des minéraux riches en chlore ;
- ❑ **Une origine marine, (le biseau salé) ;**
- ❑ **Une origine anthropique, (les engrais et les pesticides).**



**Fig.n°41: carte isoteneur de Cl en (mg/l).**

L'examen de la carte d'isoteneurs en Cl<sup>-</sup> montre deux zones où les teneurs en Cl<sup>-</sup> sont importantes : il s'agit de la commune d'El Chott à l'Est de la ville de Ouargla et au Nord de Ouargla dans la région de N'goussa.

### e. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :

L'ion sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$  est la forme prédominante des sulfates dans les eaux souterraines :

- L'oxydation des minéraux riche en soufre (ex : la pyrite ( $\text{FeS}_2$ )) ;
- Le lessivage de formations évaporitiques (ex : le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )) ;
- L'oxydation de sulfures dans les précipitations atmosphériques (phénomène des pluies acides) ;
- Une origine anthropique (engrais).

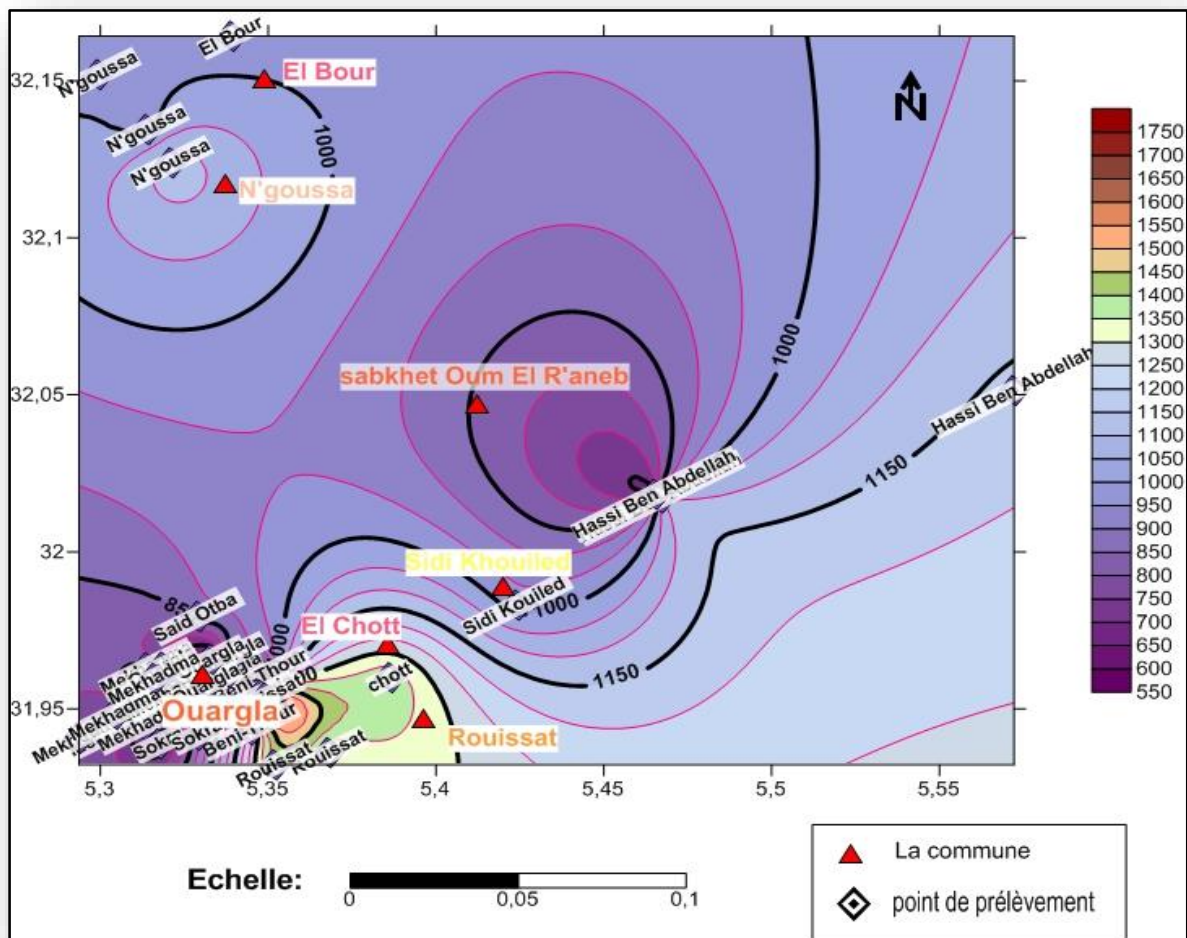


Fig.n°42: carte d'isoteneur de  $\text{SO}_4^{2-}$  en (mg/l).

Les eaux les plus chargées en  $\text{SO}_4^{2-}$  se trouvent à l'Est de la ville de Ouargla précisément au Chott, alors que les eaux les moins chargées en cet élément se localisent au centre de la carte.

**f. Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :**

A partir l'altération des roches carbonatées et en présence d'acide carbonique, la calcite peut se dissoudre pour donner du bicarbonate de calcium :

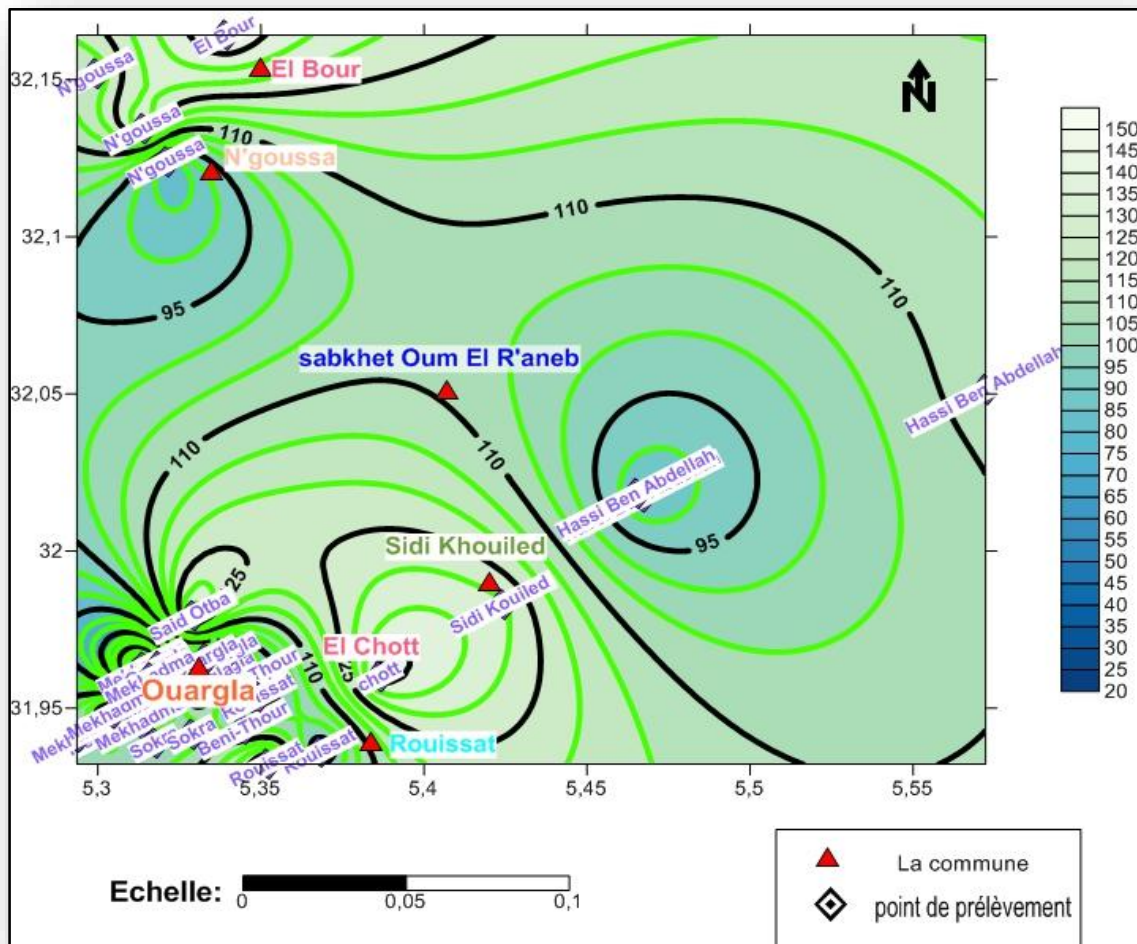


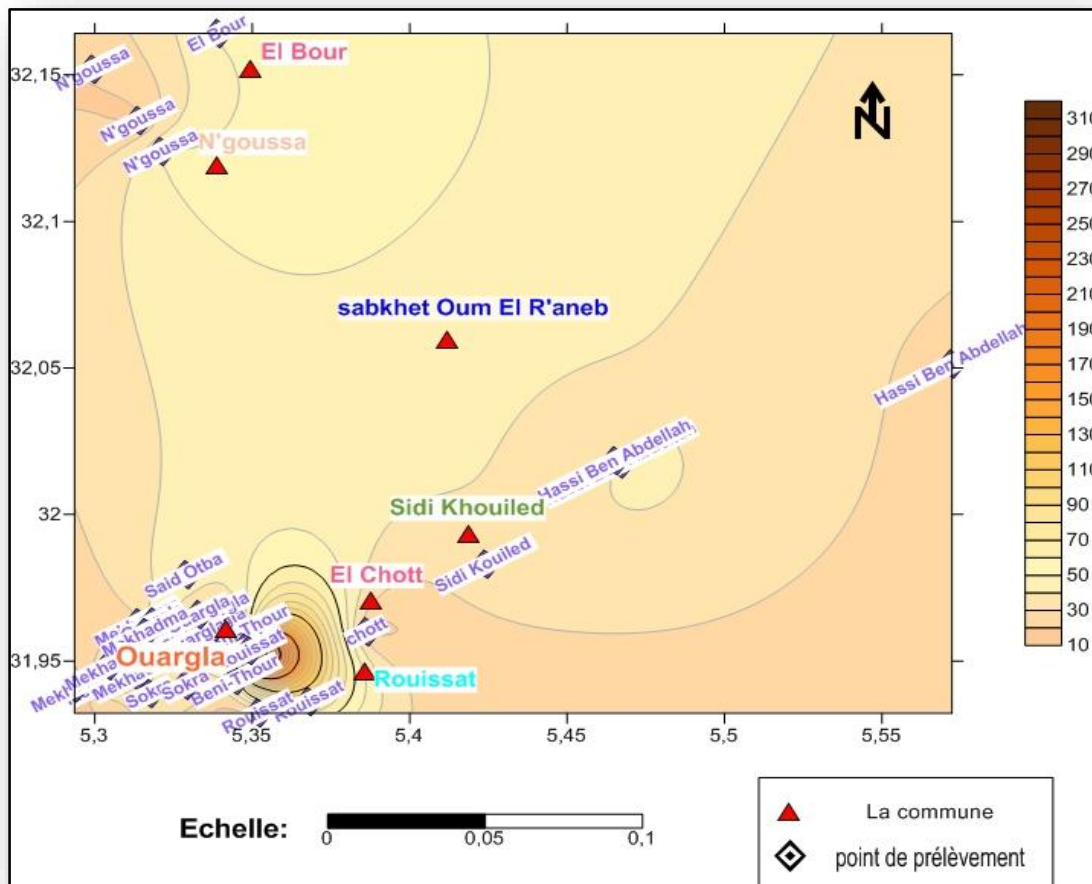
Fig.n°43 : carte d'isoteneurs en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l).

L'examen de la carte montre que les eaux plus chargées se trouvent au Nord et au Sud de Ouargla sauf que la commune de Hassi Ben Abdallah, Mekhadma et N'goussa.



**g. Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :**

Les sources naturelles principales de nitrate sont les interactions du sol avec la végétation, les sources anthropiques sont par ailleurs nombreuses le plus souvent liées au lessivage d'engrais, à l'élevage et aux rejets d'eaux domestiques et industriels.



**Fig.n°44 : carte d'isoteneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l).**

La carte d'isoteneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> montre la teneur minimale de nitrate est enregistrée au forage F6 en la commune de Mekhadma avec la valeur : 10 mg/l et la teneur maximale de nitrate est enregistrée au forage F19 en la commune de Rouissat avec la valeur 353 mg/l.

## 6. La classification des eaux souterraines de la nappe CT :

### a. Représentation graphique des faciès hydrochimiques :

Les analyses chimiques effectuées sur les trente-deux échantillons en 2014, montrent que les eaux de la nappe du Complexe Terminal ont des faciès chimiques suivants:

- ❑ Sulfatée sodique : 43.75%
- ❑ Chlorurée sodique : 37.5%
- ❑ Sulfatée calcique : 3.12%
- ❑ Sulfatée magnésienne : 15.62 %

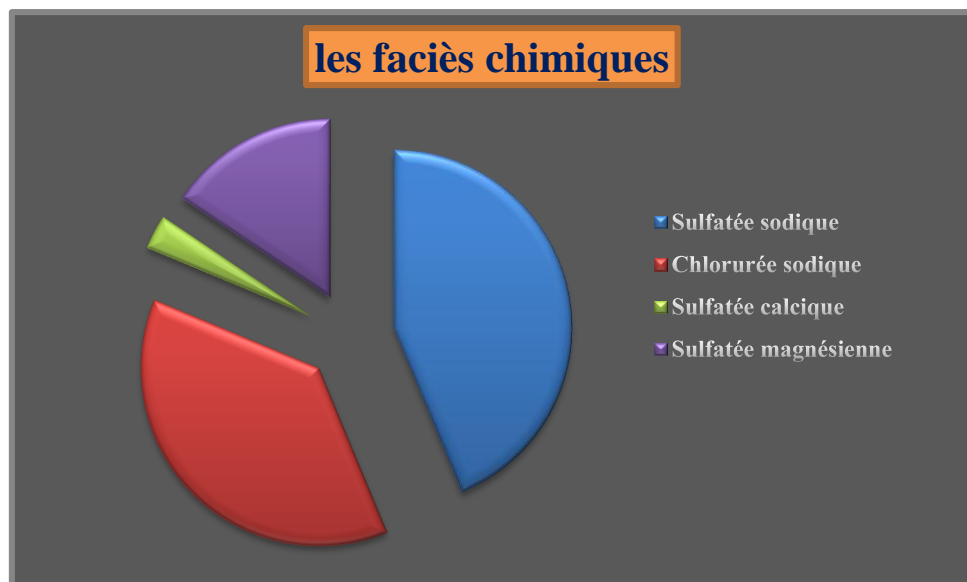


Fig.n°45: secteur de faciès chimiques

N°	Forage	Formule	Le Faciès Chimique
F1	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F2	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F3	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F4	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rNO3&gt;rHCO3</li> <li>▪ rCa&gt;rMg&gt;rNa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté calcique
F5	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rNO3&gt;rHCO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F6	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F7	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F8	Beni-Thour	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F9	Beni-Thour	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rMg&gt;rNa&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté Magnésienne
F10	Ouargla	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F11	Ouargla	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F12	Ouargla	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F13	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rMg&gt;rNa&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté Magnésienne
F14	Said Otba	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F15	Ouargla	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rNO3&gt;rHCO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F16	Ouargla	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rMg&gt;rNa&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté Magnésienne
F17	Ouargla	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rMg&gt;rNa&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté Magnésienne
F18	Mekhadma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F19	Rouissat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rNO3&gt;rHCO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F20	Sidi Kouiled	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F21	Sokra	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F22	Sokra	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique

F23	Rouissat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F24	Rouissat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F25	chott	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F26	N'goussa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F27	N'goussa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rMg&gt;rNa&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté Magnésienne
F28	El Bour	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F29	N'goussa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F30	Hassi Ben Abdellah	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rMg&gt;rCa&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique
F31	Hassi Ben Abdellah	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rSO4&gt;rCl&gt;rHCO3&gt;rNO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Sulfaté sodique
F32	Hassi Ben Abdellah	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rCl&gt;rSO4&gt;rNO3&gt;rHCO3</li> <li>▪ rNa&gt;rCa&gt;rMg&gt;rK</li> </ul>	Chloruré sodique

#### b. Diagramme de Piper :

Selon ce diagramme, nous remarquons que la majorité des eaux de la nappe CT sont regroupées à cheval sur deux pôles à savoir :

- ✓ Pôle à faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne ;
- ✓ Pôle à faciès chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique.

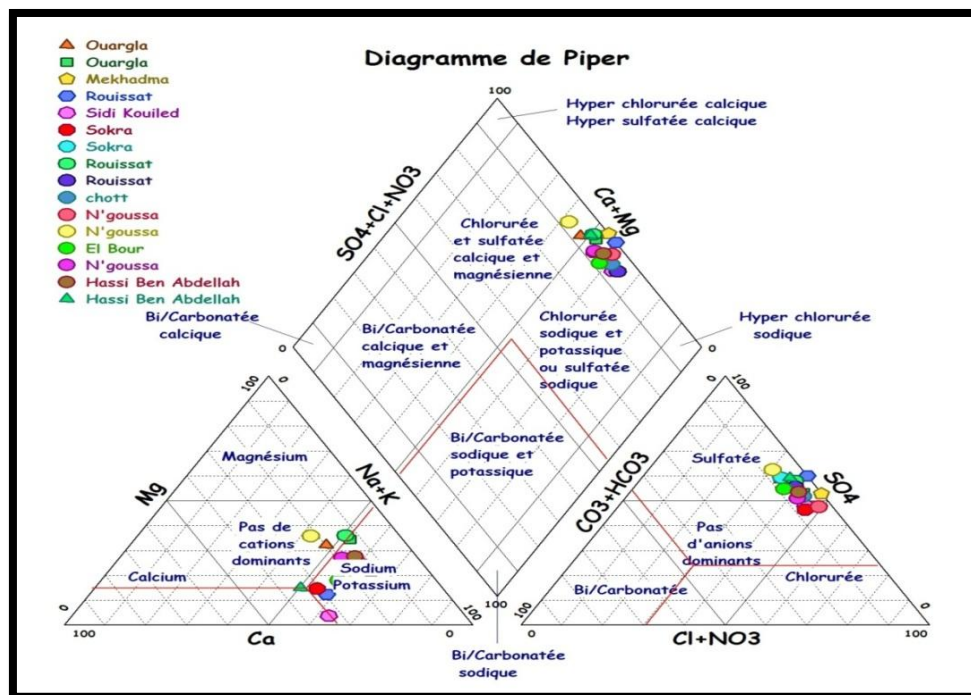
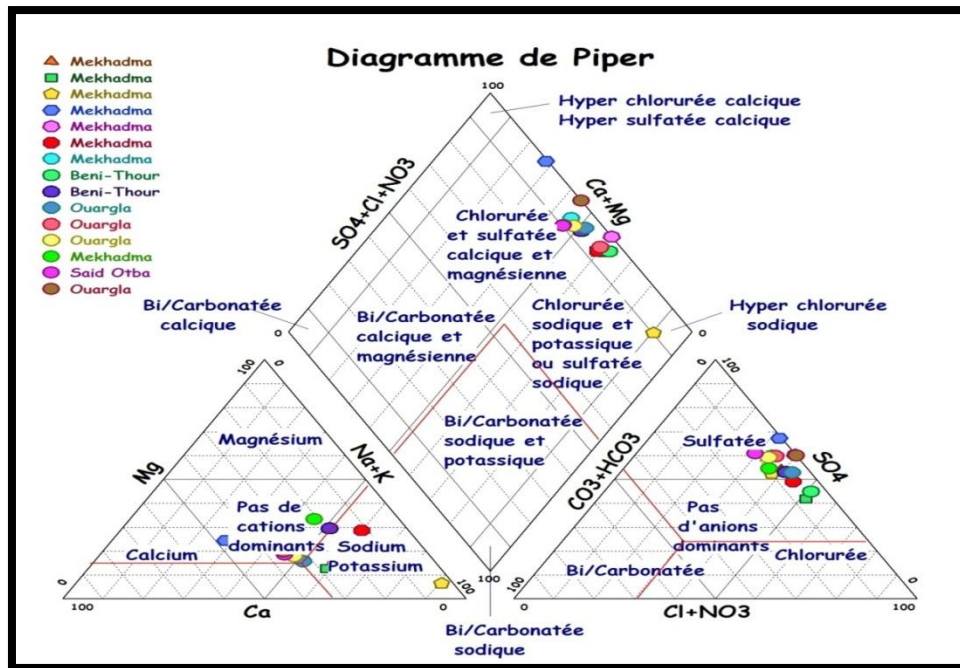


Fig.n°46 : le diagramme de piper des eaux de la nappe CT

b. Diagramme de Berkaloff Schöeller :

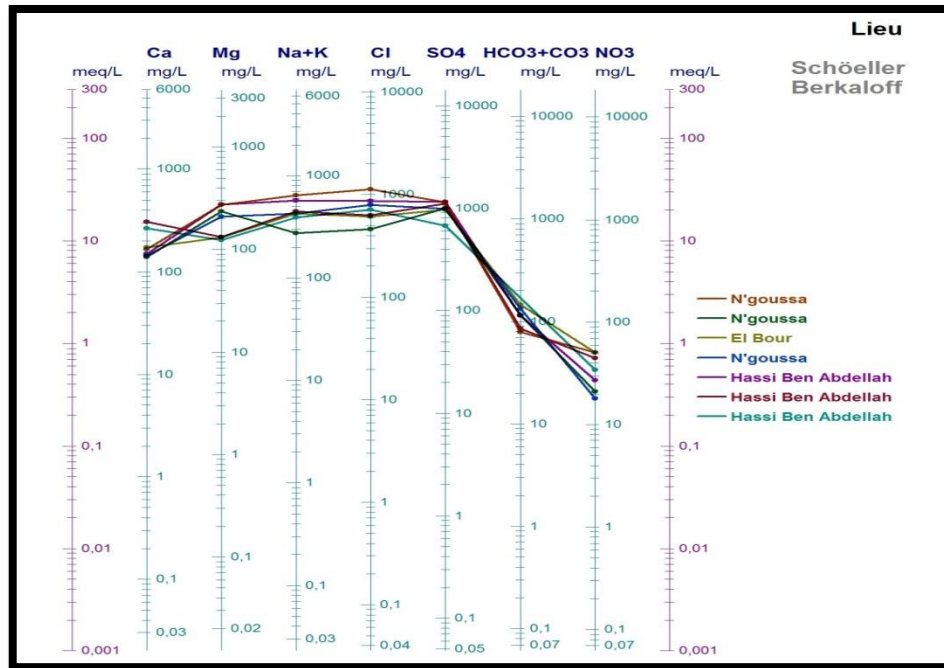


Fig.n°47-a: Le diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe CT.

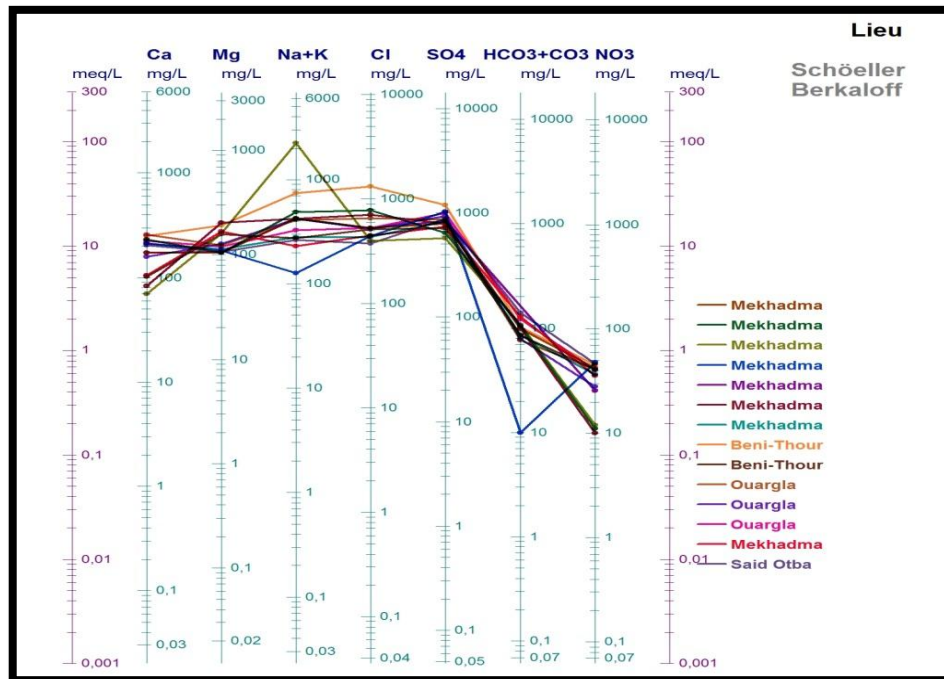


Fig.n°47-b: Le diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe CT.



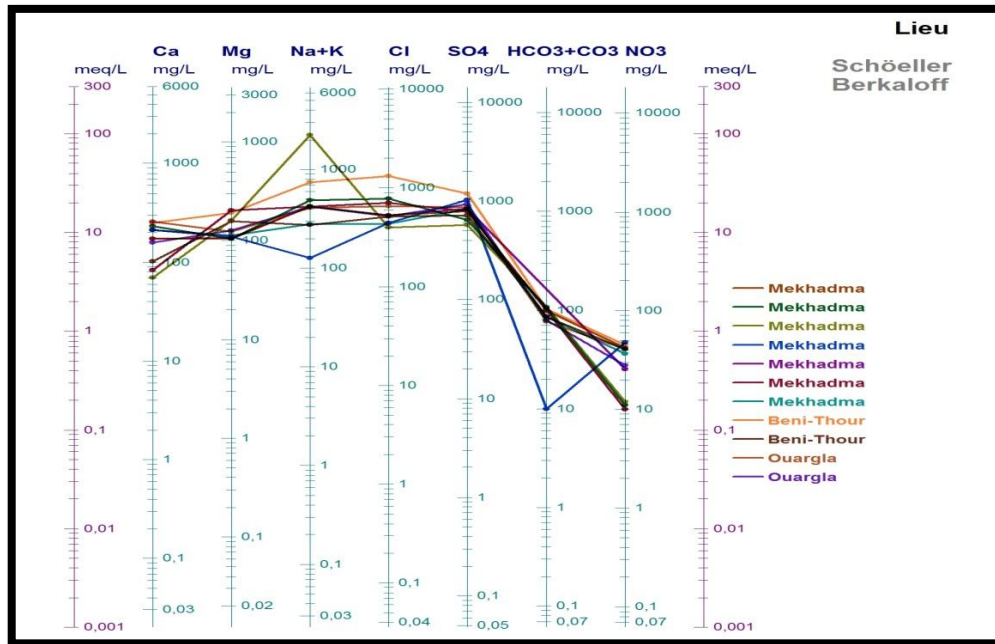


Fig.n°47-c: Le diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe CT.

Selon ce diagramme en obtient que la quasi-totalité des eaux de la nappe CT soit :

- ✓ Faciès sulfaté sodique ;
- ✓ Faciès chloruré sodique ;
- ✓ Faciès sulfaté magnésienne.



## 7. Etude des rapports caractéristiques :

Tableau n°27 : les rapports des eaux souterraines de la vallée de Ouargla.

N°	Nom	r(SO4/Cl)	r(Mg/Ca)	r(Na/Cl)	r(HCO3/SO4+Cl)
F1	Mekhadma	1,47	0,2	0,77	0,074
F2	Mekhadma	0,82	0,13	0,59	0,073
F3	Mekhadma	1,43	0,41	5,56	0,11
F4	Mekhadma	2,3	0,25	0,25	0,007
F5	Mekhadma	1,59	0,2	0,77	0
F6	Mekhadma	1,1	0,29	0,56	0,067
F7	Mekhadma	1,91	0,26	0,61	0,067
F8	Beni-Thour	0,9	0,14	0,53	0,04
F9	Beni-Thour	1,39	0,31	0,51	0,069
F10	Ouargla	1,31	0,19	0,59	0,05
F11	Ouargla	1,79	0,24	0,78	0,054
F12	Ouargla	1,9	0,23	0,59	0,08
F13	Mekhadma	1,63	0,37	0,47	0,108
F14	Said Otba	2,31	0,28	0,66	0,111
F15	Ouargla	1,67	0,27	0,58	0
F16	Ouargla	1,68	0,41	0,58	0,078
F17	Ouargla	1,37	0,33	0,48	0,046
F18	Mekhadma	1,18	0,17	0,59	0
F19	Rouissat	2,12	0,18	0,81	0
F20	Sidi Kouiled	1,1	0,04	0,68	0,071
F21	Sokra	1,06	0,17	0,59	0,081
F22	Sokra	1,9	0,25	0,81	0,075
F23	Rouissat	1,67	0,43	0,57	0,042
F24	Rouissat	1,44	0,25	0,71	0,055
F25	chott	1,21	0,26	0,64	0,057
F26	N'goussa	1,01	0,24	0,55	0,035
F27	N'goussa	2,15	0,5	0,57	0,079
F28	El Bour	1,59	0,21	0,67	0,092
F29	N'goussa	1,22	0,26	0,51	0,075
F30	Hassi Ben Abdellah	1,33	0,32	0,63	0,055
F31	Hassi Ben Abdellah	1,75	0,21	0,67	0,049
F32	Hassi Ben Abdellah	0,94	0,17	0,52	0

**a. Rapport SO<sub>4</sub>/Cl :**

Ce rapport généralement varie entre 0.9 à 2.15, ce qui détermine la prédominance les sulfates sur les chlorures s'expliquant par le lessivage des alluvions salifères, rSO<sub>4</sub>/rCl au forage n°2, 8 et 32 présente une dominance des chlorures sur les sulfates

**b. Rapport Na/Cl :**

On remarque une dominance évidente des chlorures sur le sodium, par contre au niveau de forage n°3 le rapport s'inverse.

**c. Rapport Mg/Ca :**

On constate que dans la totalité des forages, ces rapports sont inférieurs à 1, ceci confirme la dominance de calcium sur le magnésium.

**d. Rapport HCO<sub>3</sub>/SO<sub>4</sub>+Cl :**

Ce rapport montre que toutes les eaux des forages présentent un rapport inférieur à l'unité, ceci confirme la dominance des chlorures et sulfates sur les bicarbonates.

## 8. Étude géochimique de l'évolution des minéraux (Indice de saturation) :

La dissolution d'un minéral dans l'eau peut être décrite par un état d'équilibre : quand l'eau en est contact avec un minéral, la concentration de la solution augmente pour atteindre un maximum pour les conditions physico-chimiques données, on dit alors que la solution est saturée en ce minéral, l'état de saturation est exprimé par l'indice de saturation **IS (CIDU et al, 2009)**.

Le produit d'activités ionique est comparé au produit de solubilité KS à la température de l'échantillon.

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

{ IS : l'indice de saturation  
 { PAI : le produit d'activité ionique  
 { KS : le produit de solubilité

- Si PAI = KS, alors IS = 0 indique un état de saturation de la solution ;
- Si PAI < KS, IS < 0 signifie une sous-saturation d'une solution par rapport à un minéral ;
- Si PAI > KS, IS > 0 démontre une sursaturation.

Les indices de saturation par rapport aux minéraux (halite, gypse, anhydrite, calcite, dolomite et aragonite) et les équilibres chimiques ont été calculés à l'aide du programme Diagramme.

Tableau n°28 : indice de saturation des eaux souterraines de la vallée de Ouargla.

N°	Les minéraux carbonatés			Les minéraux évaporitiques	
	Is Calcite	Is Aragonite	Is Dolomie	Is Gypse	Is Anhydrite
F1	0.35	0.20	0.83	-0.39	-0.61
F2	0.82	0.68	1.66	-0.36	-0.58
F3	0.57	0.43	1.87	-1	-1.22
F4	-0.63	-0.78	-1.19	-0.19	-0.41
F5	0.61	-0.7	1.1	-0.2	-0.7
F6	0.61	0.47	1.97	-0.73	-0.95
F7	0.43	0.28	0.93	-0.29	-0.5
F8	0.58	0.43	1.4	-0.14	-0.36
F9	0.72	0.58	1.98	-0.65	-0.87
F10	0.46	0.32	0.97	-0.21	-0.43
F11	0.12	-0.03	0.49	-0.37	-0.59
F12	0.54	0.4	1.17	-0.19	-0.41
F13	1.38	1.23	3.31	-0.63	-0.85
F14	0.53	0.38	1.13	-0.27	-0.49
F15	0.1	0.3	1.2	-0.4	-0.3
F16	-0.09	-0.23	0.39	-0.77	-0.99
F17	-0.04	-0.18	0.71	-0.54	-0.76
F18	0.32	0.16	0.6	-0.05	-0.4
F19	1	0.2	1.8	-0.2	-0.23
F20	0.69	0.54	0.78	-0.06	-0.28
F21	0.20	0.05	0.43	-0.39	-0.61
F22	0.32	0.17	0.84	-0.38	-0.6
F23	-0.08	-0.22	0.64	-0.4	-0.62
F24	0.76	0.62	2.08	-0.25	-0.47
F25	1.07	0.92	2.71	-0.32	-0.45
F26	0.53	0.39	1.64	-0.33	-0.55
F27	-0.45	-0.59	-0.31	-0.41	-0.63
F28	0.62	0.48	1.48	-0.32	-0.54
F29	0.77	0.63	2.07	-0.42	-0.64
F30	0.80	0.66	2.23	-0.36	-0.58
F31	0.51	0.37	1.02	-0.04	-0.26
F32	0.4	0.9	0.8	-0.2	-0.3

Les résultats montrent que la majorité des eaux de forages étudiées de la nappe Complexe Terminal sont sursaturées en minéraux carbonatés et sous saturées en minéraux évaporitiques

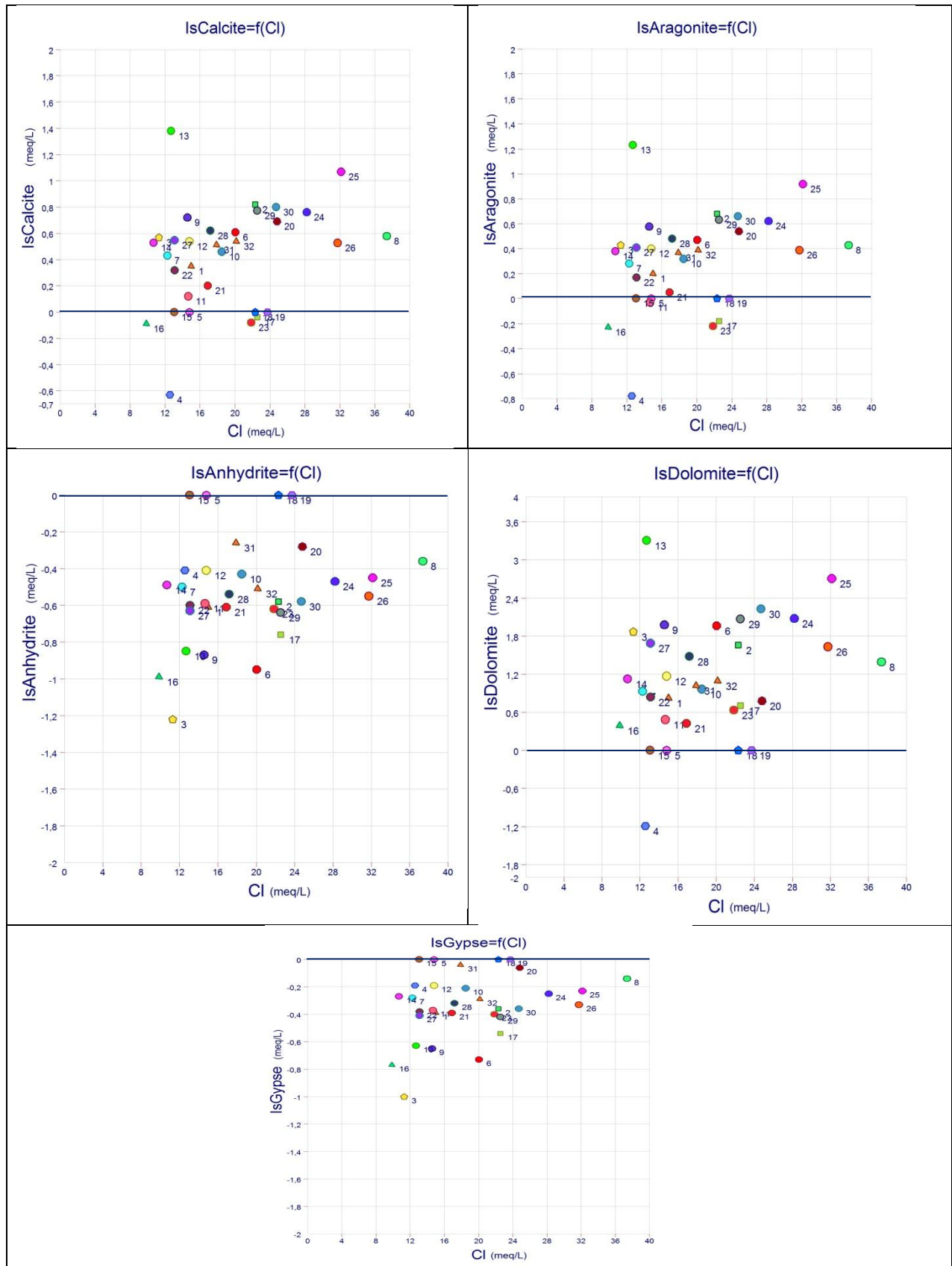


Fig.n°48: IS versus Cl

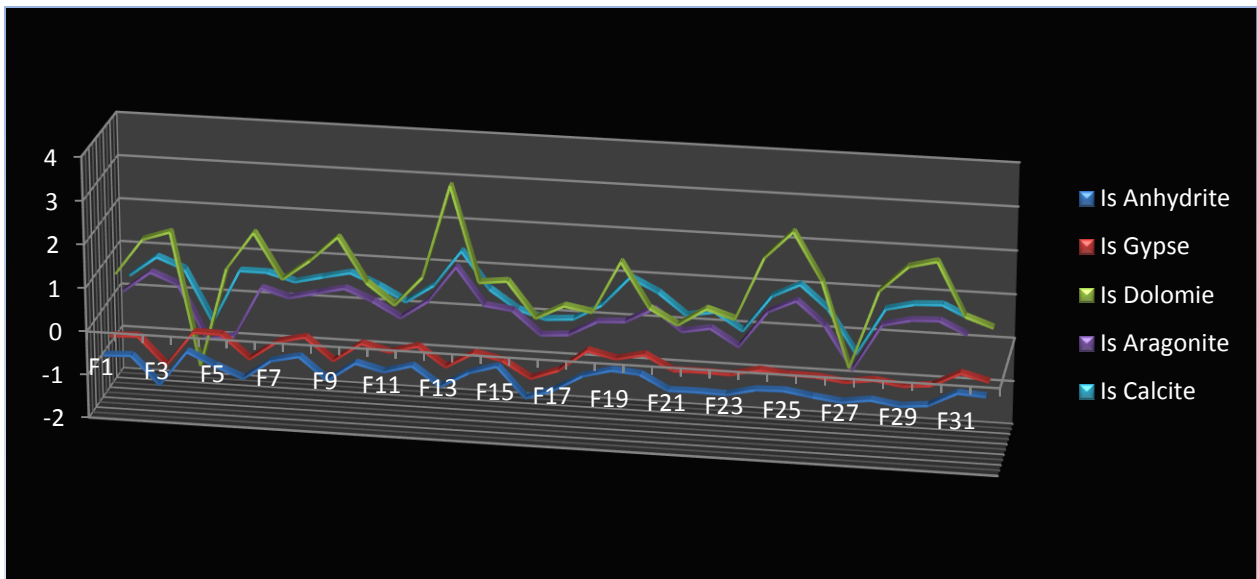


Fig.n°49: l'évolution de l'indice de saturation des minéraux de la nappe CT.

## 9. Qualité chimique des eaux :

La détermination de la qualité chimique des eaux suivant :

- Les normes établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ;
- A l'aide de degré hydrométrique total D.H.T.

### a. Potabilité des eaux (Norme et qualité) :

#### i. Selon l'O.M.S :

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales qui traduisent les limites de Potabilité :

- La concentration maximale acceptable** est (d'après RODIER, 1978) limite à partir de laquelle la qualité d'une eau est diminuée et provoque chez les consommateurs une certaine réticence.
- La concentration maximale admissible** est la quantité maximale des substances tolérées, les teneurs supérieures pouvant être dangereuses pour la santé.

Tableau n°29: Normes de potabilité de l'O.M.S

Eléments chimiques	Concentration maximale acceptable (mg/l)	Concentration maximale admissible (mg/l)
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
Nitrate (mg/l)	50	100

Dans notre cas de la nappe de Complexe Terminal les résultats chimiques montrent que la majorité des échantillons dépassent les normes.

❖ Calcium :

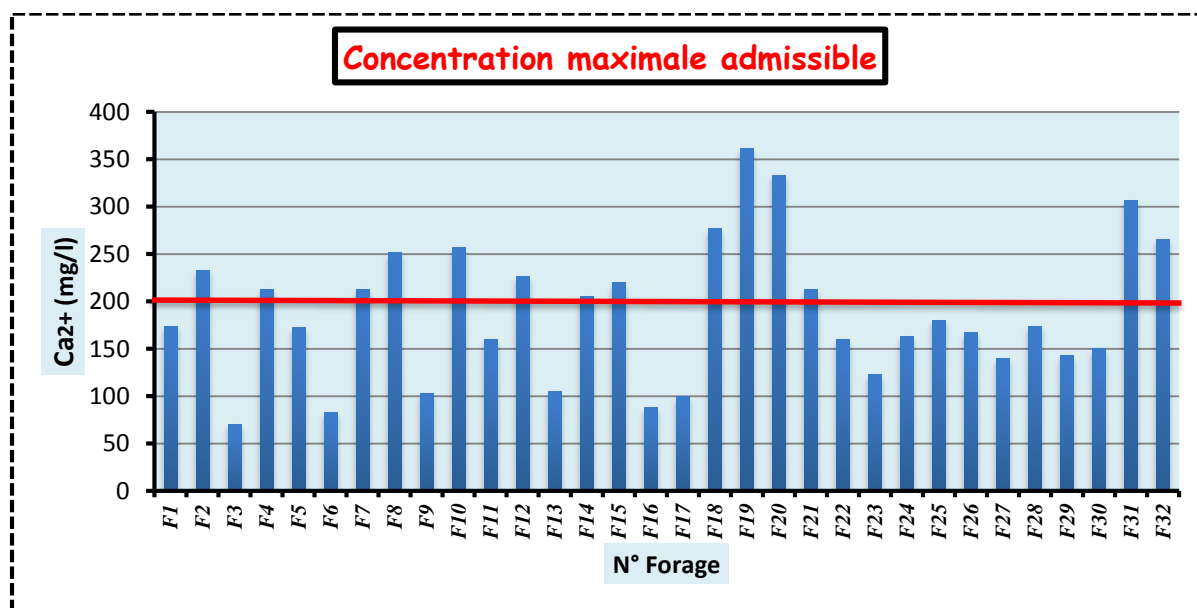


Fig.n°50: Concentration de calcium.



❖ Magnésium :

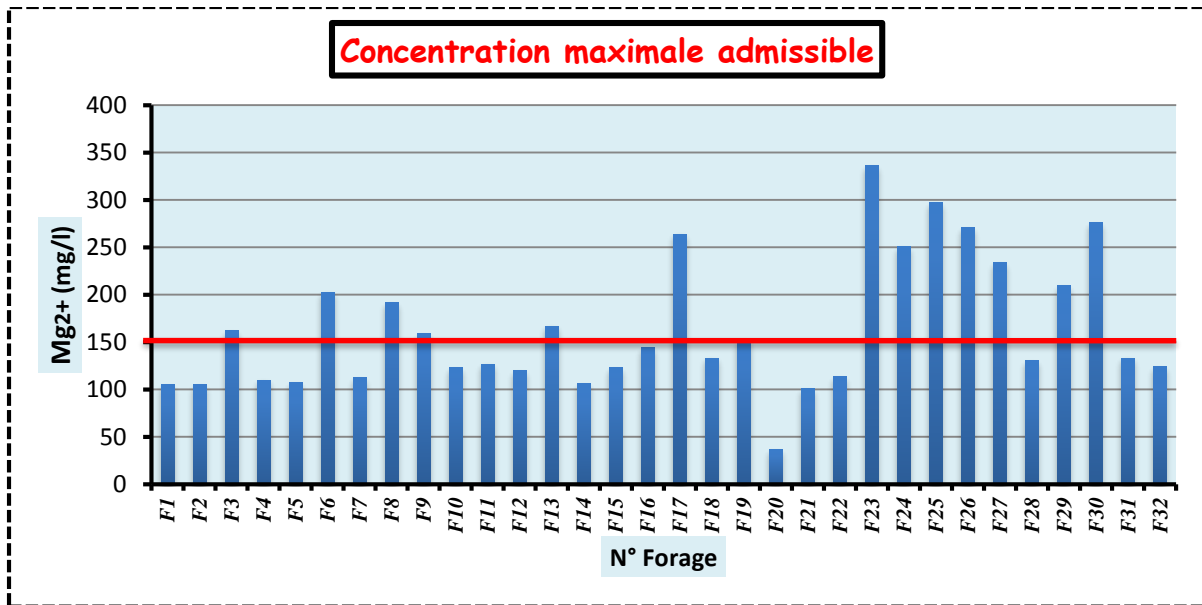


Fig.n°51: Concentration de magnésium.

❖ Sodium :

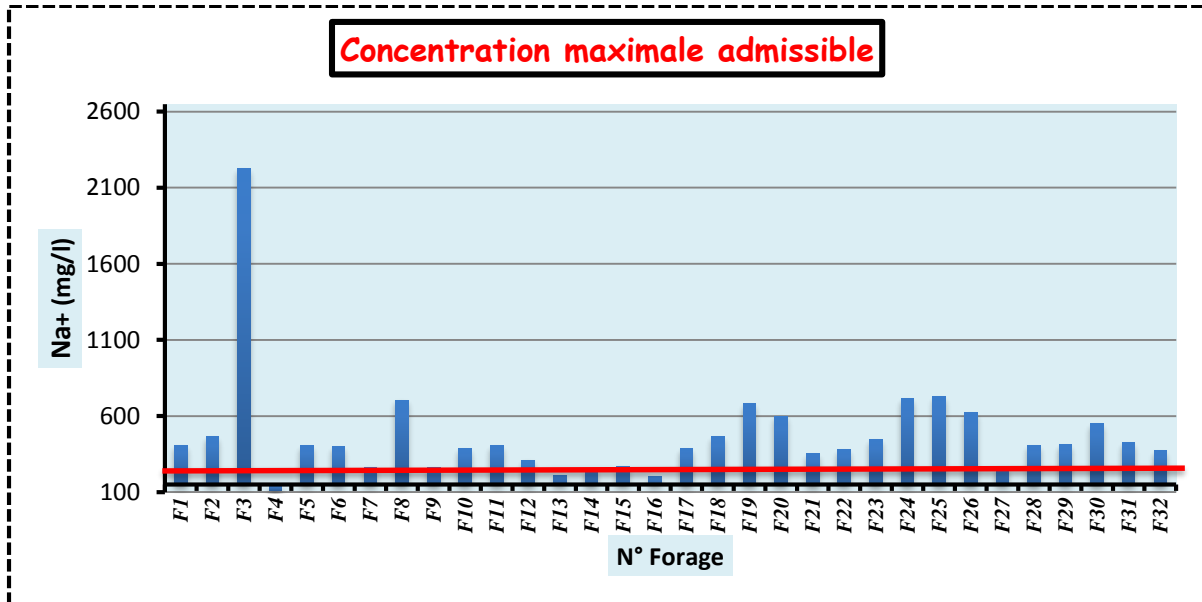


Fig.n°52: Concentration de Sodium.

❖ Potassium :

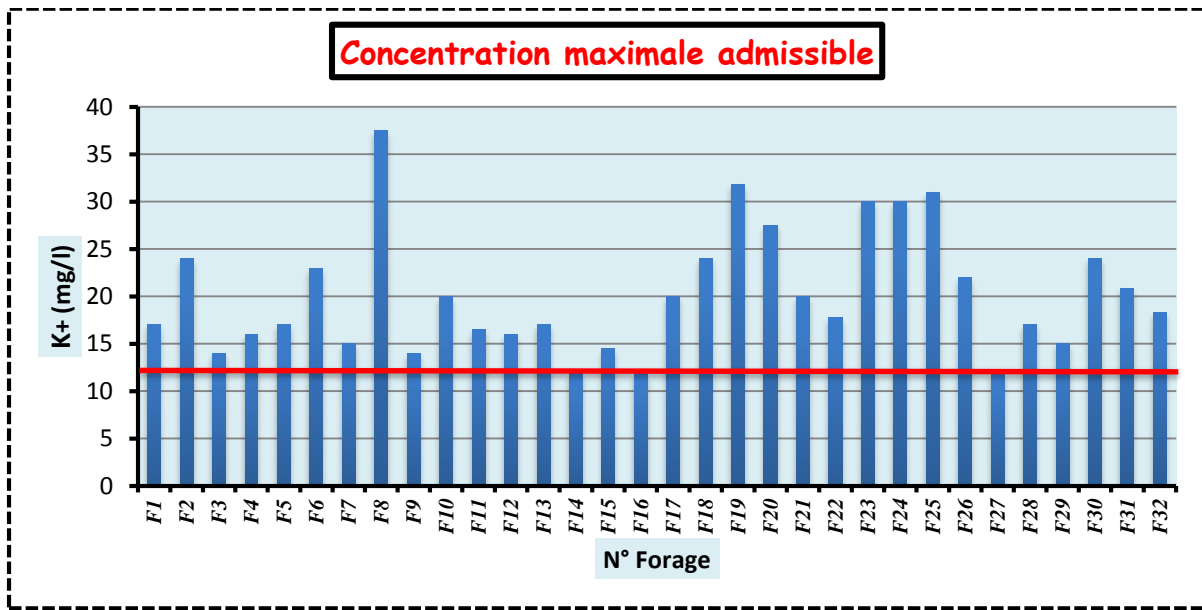


Fig.n°53: Concentration de Potassium.

❖ Chlorure :

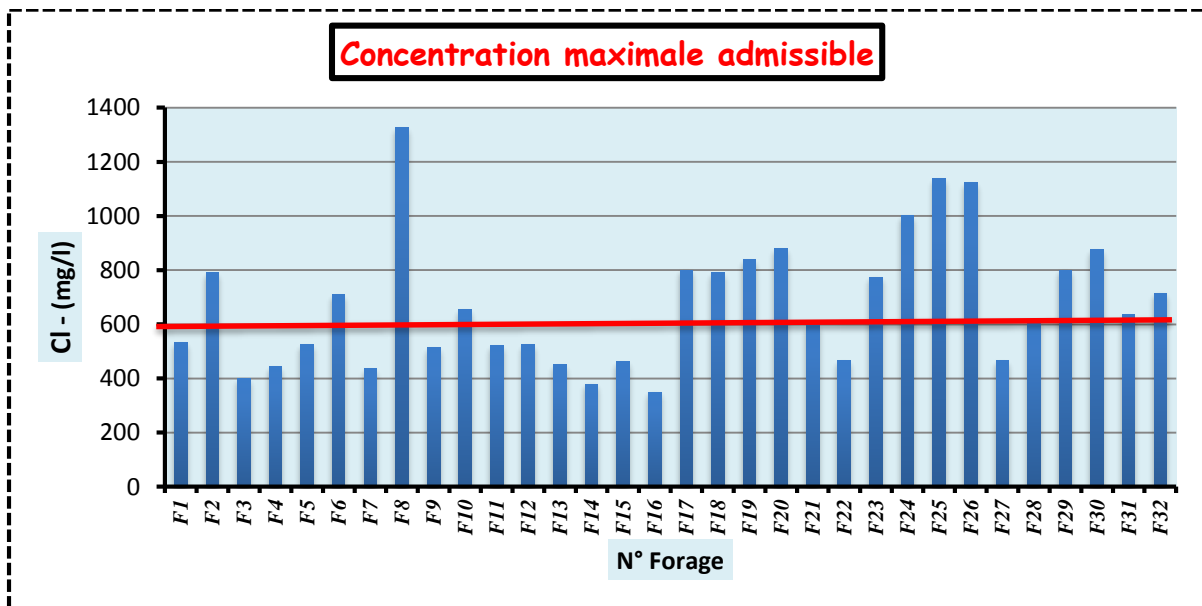


Fig.n°54 : Concentration de Chlorures.

❖ Sulfate :

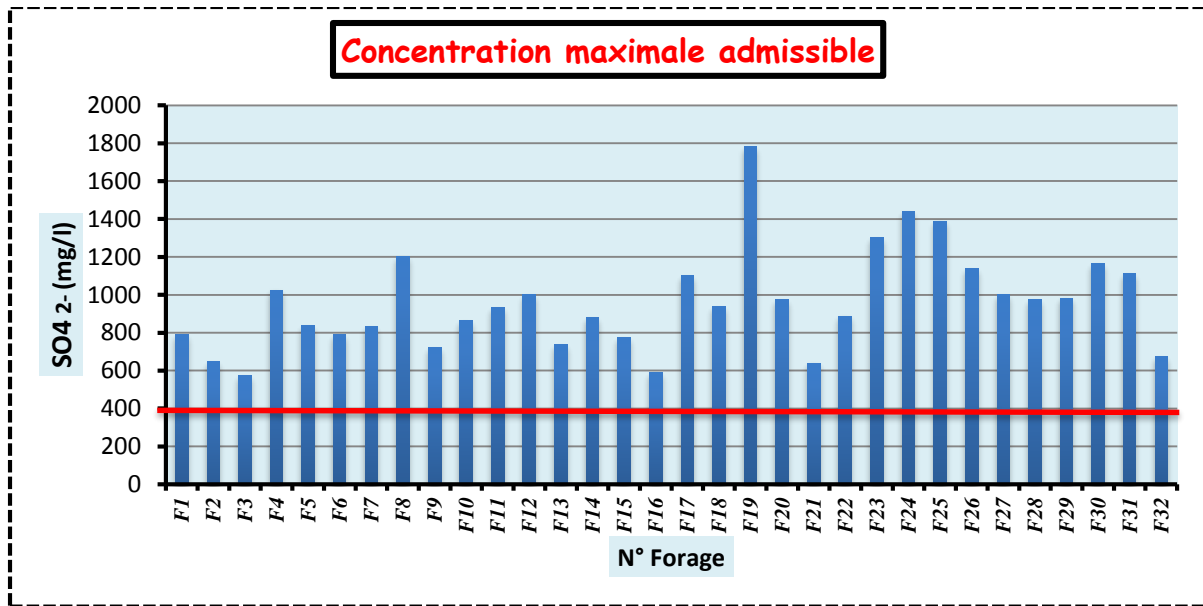


Fig.n°55: Concentration de Sulfates.

❖ Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :

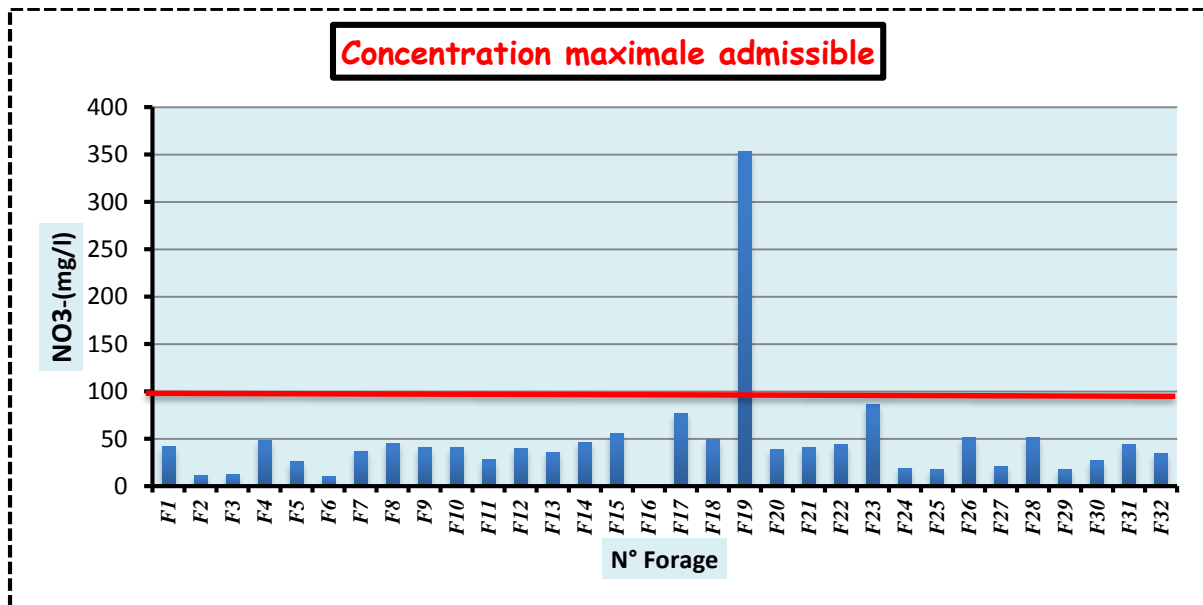


Fig.n°56: Concentration de Nitrates.

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

Le titre hydrométrique ou dureté de l'eau est correspond la formule suivante :

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

**Tableau n°30 : Dureté des eaux °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969**

D.H.T (en °F)	0-07	07-22	22-32	32-54	54>
Qualification de l'eau	douce	Modérément douce	Assez douce	dure	Très dure

On remarque que tous les échantillons de la nappe CT prélevés que le titre hydrométrique varie de 84.5 à 168.85 °F, ce qui indiquant des valeurs très élevés de dureté

**Tableau n°31 : la qualité des eaux souterraines de CT.**

N°	Lieu dit	rCa +rMg	5(rCa + rMg)	D.H.T (°F)	Qualification de l'eau
F1	Mekhadma	17,3	86,5	> 54	très dure
F2	Mekhadma	20,27	101,35	> 54	très dure
F3	Mekhadma	16,81	84,05	> 54	très dure
F4	Mekhadma	19,69	98,45	> 54	très dure
F5	Mekhadma	17,45	87,25	> 54	très dure
F6	Mekhadma	20,83	104,15	> 54	très dure
F7	Mekhadma	19,9	99,5	> 54	très dure
F8	Beni-Thour	28,35	141,75	> 54	très dure
F9	Beni-Thour	18,22	91,1	> 54	très dure
F10	Ouargla	22,92	114,6	> 54	très dure
F11	Ouargla	18,4	92	> 54	très dure
F12	Ouargla	21,21	106,05	> 54	très dure
F13	Mekhadma	18,97	94,85	> 54	très dure
F14	Said Otba	18,97	94,85	> 54	très dure
F15	Ouargla	21,09	105,45	> 54	très dure
F16	Ouargla	16,23	81,15	> 54	très dure
F17	Ouargla	26,7	133,5	> 54	très dure
F18	Mekhadma	24,76	123,8	> 54	très dure
F19	Rouissat	30,58	152,9	> 54	très dure
F20	Sidi Kouiled	19,67	98,35	> 54	très dure
F21	Sokra	18,89	94,45	> 54	très dure
F22	Sokra	17,35	86,75	> 54	très dure
F23	Rouissat	33,77	168,85	> 54	très dure
F24	Rouissat	28,77	143,85	> 54	très dure
F25	chott	33,41	167,05	> 54	très dure
F26	N'goussa	30,62	153,1	> 54	très dure
F27	N'goussa	26,23	131,15	> 54	très dure
F28	El Bour	19,41	97,05	> 54	très dure
F29	N'goussa	24,41	122,05	> 54	très dure
F30	Hassi Ben Abdellah	30,19	150,95	> 54	très dure
F31	Hassi Ben Abdellah	26,25	131,25	> 54	très dure
F32	Hassi Ben Abdellah	23,48	117,4	> 54	très dure

### c. Aptitude à l'irrigation :

La qualité des eaux d'irrigation est un paramètre important à considérer, non seulement dans l'étude de l'impact direct sur les produits agricoles, mais aussi dans celle de l'impact indirect sur les sols par modification de leurs propriétés physique et chimique (SUAREZ *et al.* 2006).

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.

#### i. 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 IV-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 a 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 n°32 :** Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation :

Restriction pour l'irrigation	Cond en $\mu\text{S}/\text{cm}$
aucune	< 700
Légère à modéré	700-3000
forte	>3000

L'annexe n°05 montre que la quasi-totalité de la conductivité électrique des eaux souterraines du CT se sont des valeurs fortes restriction pour l'irrigation.

#### ii. Infiltration :

##### 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 et l'obturation des espaces poreux (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988).

Pour les eaux de la nappe CT ont une valeur minimale de conductivité électrique supérieur à  $200 \mu\text{S} / \text{cm}$ , donc ces eaux se sont salées et apparaissent la disponibilité de l'eau en réserve.

## 2. Eaux à 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).

Une eau très minéralisée peut présenter un danger de salinisation et d'alcalinisation des sols par le remplacement des ions Calcium et Magnésium par l'ion Sodium, cet échange ionique peut être estimé par « Sodium d'Absorption Radio » SAR qui s'exprime comme suit :

$$SAR = \frac{Na^+}{r \frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}$$

Les valeurs du SAR et de conductivité exprimée en micro mmhos (mS) sont placées sur le diagramme REVERSIDE de classification des eaux d'irrigation qui comporte la subdivision suivante :

- SAR < 10 : eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols ;
- 10 < SAR < 18 : eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation des sols ;
- 18 < SAR < 26 : eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation des sols ;
- SAR > 26 : eaux présentent un danger d'alcalinisation très fort.

### 1. Classification en fonction du sodium absorbé par le sol «SAR» RICHARDS :

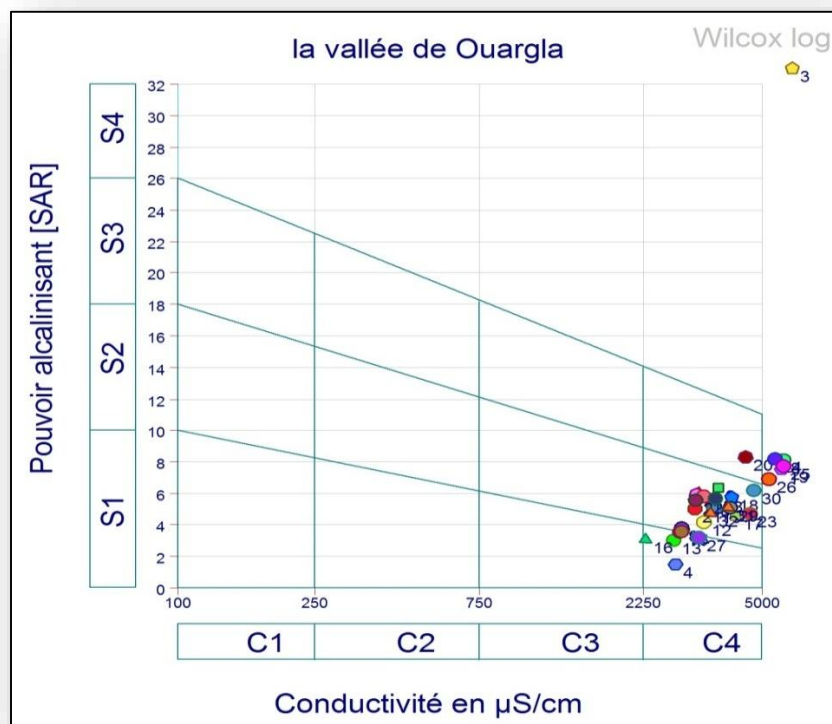
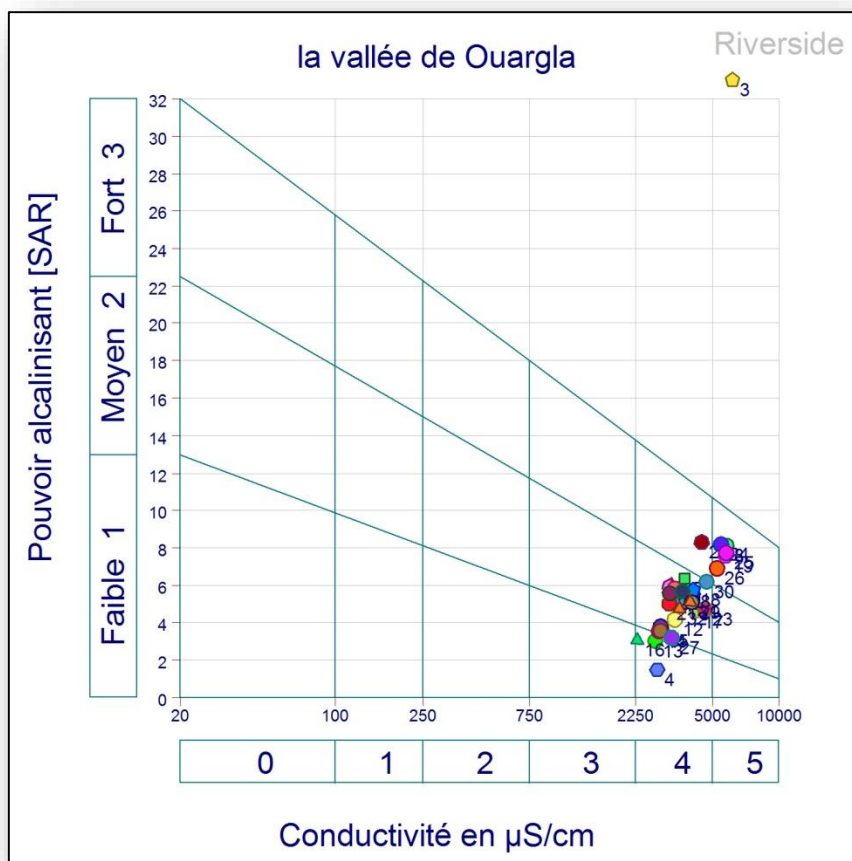


Fig.n°57 : Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal.

**Tableau n°33 :** Degré d'aptitude à l'irrigation selon SAR.

Classes	
Admissible	S1C4
Médiocre	S2C4
	S2C5
Mauvaise	S3C4
	S3C5



**Fig.n°58:** Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal.

**2. Indice d'échange de base (i.e.b) :**

L'utilisation de l'indice d'échange de base (i.e.b.) permet de mettre en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain. Par définition, l'i.e.b est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation suivante (DIB, 2010 ; SCHOLLER, 1956):



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

- ❑ Si l'*i.e.b* est négatif, les ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> de l'eau est échangée contre les ions K<sup>+</sup> et Na des Formations encaissantes (l'eau est d'origine sédimentaire).
- ❑ Si l'*i.e.b* est positif, les ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> de l'eau est remplacée par les ions Mg<sup>2+</sup> et Ca<sup>2+</sup> des formations encaissantes (l'eau est d'origine cristalline).

**Tableau n°34 :** indices d'échange de base de la vallée de Ouargla.

N°	Lieu dit	rCL	r(Na+K)	i.e.b
F1	Mekhadma	15,02	18,15	-0,20838881
F2	Mekhadma	22,28	20,83	0,06508079
F3	Mekhadma	11,28	97,1	-7,60815603
F4	Mekhadma	12,55	5,19	0,58645418
F5	Mekhadma	14,81	17,93	-0,21066847
F6	Mekhadma	20,02	17,98	0,1018981
F7	Mekhadma	12,27	11,9	0,03015485
F8	Beni-Thour	37,37	31,61	0,15413433
F9	Beni-Thour	14,52	11,8	0,18732782
F10	Ouargla	18,47	17,31	0,06280455
F11	Ouargla	14,66	17,97	-0,22578445
F12	Ouargla	14,81	13,89	0,06212019
F13	Mekhadma	12,69	9,69	0,23640662
F14	Said Otba	10,72	11,18	-0,04291045
F15	Ouargla	13,04	11,95	0,08358896
F16	Ouargla	9,87	9,09	0,07902736
F17	Ouargla	22,56	17,25	0,23537234
F18	Mekhadma	22,28	20,83	0,06508079
F19	Rouissat	23,69	30,38	-0,28239764
F20	Sidi Kouiled	24,82	26,79	-0,07937147
F21	Sokra	16,92	15,95	0,05732861
F22	Sokra	13,11	16,87	-0,28680397
F23	Rouissat	21,86	20,12	0,07959744
F24	Rouissat	28,2	31,77	-0,12659574
F25	chott	32,15	32,31	-0,00497667
F26	N'goussa	31,73	27,52	0,132682
F27	N'goussa	13,11	11,83	0,09763539
F28	El Bour	17,2	18,13	-0,05406977
F29	N'goussa	22,56	18,16	0,19503546
F30	Hassi Ben Abdellah	24,68	24,52	0,00648298
F31	Hassi Ben Abdellah	17,91	19,01	-0,0614182
F32	Hassi Ben Abdellah	20,16	16,78	0,16765873

D'après le tableau la majorité sont positives au niveau des forages (F2.F4.F6.F7.F8.F9.F10.F12.F13.F15.F16.F17.F18.F21.F23.F26.F27.F29.F30.F31.F32) se sont des formations encaissantes, ceci traduit que l'eau est d'origine sédimentaire, tandis que le reste des points d'eaux avec un indice négatif, indiquent que les eaux souterraines de la nappe CT sont d'origine cristalline.

iii. Etude de la toxicité des végétaux:

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).

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

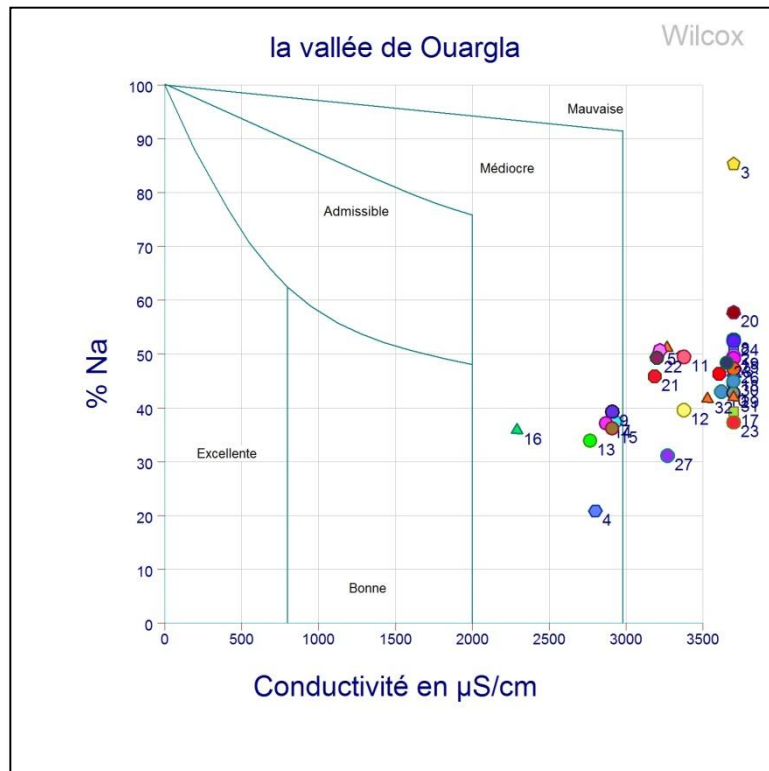


Fig.n°59 : diagramme de WILCOX

3. 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).

Tableau n°35: Directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation (Toxicité spécifique de certains ions)

Restriction pour l'irrigation	Sodium (méq/l)	Chlore (méq/l)
Aucune	< 3	< 4
Légère à modérée	3 à 9	4 à 10
Forte	>9	>10

## 10. Etude statistiques des données hydrochimiques :

### a. La méthode analyse en composante principales :

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode statistique très efficace pour l'analyse de données quantitatives se présentant sous la forme de tableaux à M observations / N variables, la méthode ACP utilisé pour l'étude des eaux souterraines permet une différenciation sur leurs particularités chimiques de leurs variation d'ensemble (facteurs), Nous avons effectué une étude statistique sur 32 trente-deux échantillons d'eau et 11 variables définies comme suit :

- ☐ Les éléments majeurs chimiques de l'eau en (mg/l) ;
- ☐ PH ;
- ☐ Résidu sec en mg/l ;
- ☐ Conductivité en mmhos/cm.

### b. Le logiciel utilisé :

Le logiciel XLSTAT (version 7.5), c'est logiciel d'analyse de données et de statistiques pour but de calculer les paramètres statistiques descriptives et déterminer la matrice de corrélation ainsi que les cercles de corrélation des variables et les études des individus.

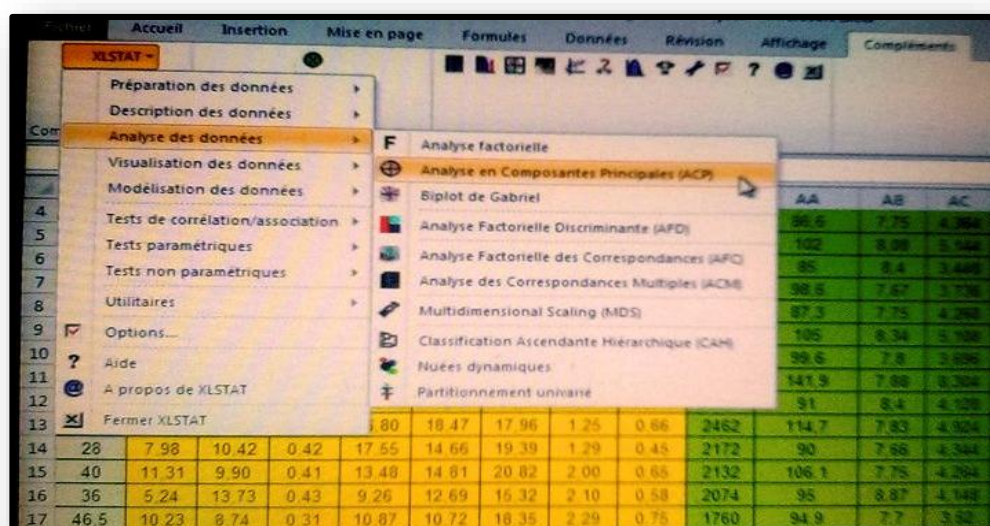


fig.n°60: représentation de l'interface de logiciel XLSTAT.

**c. Statistiques élémentaires :**

A partir logiciel XLSTAT a permet de donner, pour chaque variable la moyenne et l'écart-type ; dont les résultats sont données ci-dessous.

Tableau n°36 : la moyenne et l'Ecart-type de la nappe CT.

Variable	Moyennes	Ecart-types
Ca	180,252	65,038
Mg	168,503	74,376
K	20,684	6,260
Na	496,598	384,787
CL	695,500	248,695
So4	963,830	224,893
HCo3	103,200	28,724
No3	38,120	17,985
RS	2681,760	799,559
pH	7,964	0,328
Cond	5,364	1,599

**d. Matrice de corrélation :**

	Ca	Mg	K	Na	CL	So4	HCo3	No3	RS	pH	Cd
Ca	1										
Mg	-0,525	1									
K	0,249	0,469	1								
Na	-0,250	0,168	0,124	1							
CL	0,178	0,569	0,861	0,128	1						
So4	0,141	0,650	0,643	-0,084	0,671	1					
HCo3	-0,043	0,091	0,152	0,185	0,207	0,110	1				
No3	0,062	0,164	0,034	-0,354	-0,031	0,273	-0,301	1			
RS	0,096	0,704	0,849	0,126	0,948	0,797	0,254	-0,012	1		
pH	-0,509	0,334	0,015	0,300	0,126	-0,108	0,320	-0,545	0,180	1	
Cd	0,096	0,704	0,849	0,126	0,948	0,797	0,254	-0,012	1,000	0,180	1

On remarque que tous les éléments majeurs sont corrélés positivement entre eux, les meilleurs corrélations positives est entre :

- Cl et K (0.861) ;
- RS et Na (0.94) ;
- RS et Cl (0.94) ;
- RS et K (0.84) ;
- RS et SO<sub>4</sub> (0.79) ;

- Cd et Cl (0.94) ;
- Cd et k (0.84) ;
- Cd et SO<sub>4</sub> (0.79).
- Les corrélations négatives : Mg et Ca (-0.525) ;
- Ph et Ca (-0.509) ;
- Ph et NO<sub>3</sub> (-0.545).

On définit que de bonnes corrélations de la conductivité et le résidu sec avec les ions Cl, Mg, K, SO<sub>4</sub>.

#### e. Diagonalisation :

On obtient 45,12 % pour le premier axe, 20,98% pour le second.

#### f. Représentations graphiques :

Tableau n°36: Pourcentage de variance exprimée

	F1	F2	F3
Valeur propre	4,963	2,308	1,436
% variance	45,118	20,985	13,058
% cumulé	45,118	66,103	79,161

Tableau n°37: Corrélations facteurs variables

	F1	F2	F3
Ca	0,038	<u>-0,658</u>	<u>0,704</u>
Mg	<u>0,749</u>	0,235	-0,587
K	<u>0,868</u>	-0,167	0,201
Na	0,158	0,586	0,139
CL	<u>0,936</u>	-0,065	0,164
So4	<u>0,822</u>	-0,309	-0,164
HCo3	0,270	0,419	0,399
No3	0,022	-0,676	-0,563
RS	<u>0,990</u>	-0,021	0,055
pH	0,190	<u>0,846</u>	-0,038
Cd	<u>0,990</u>	-0,021	0,055

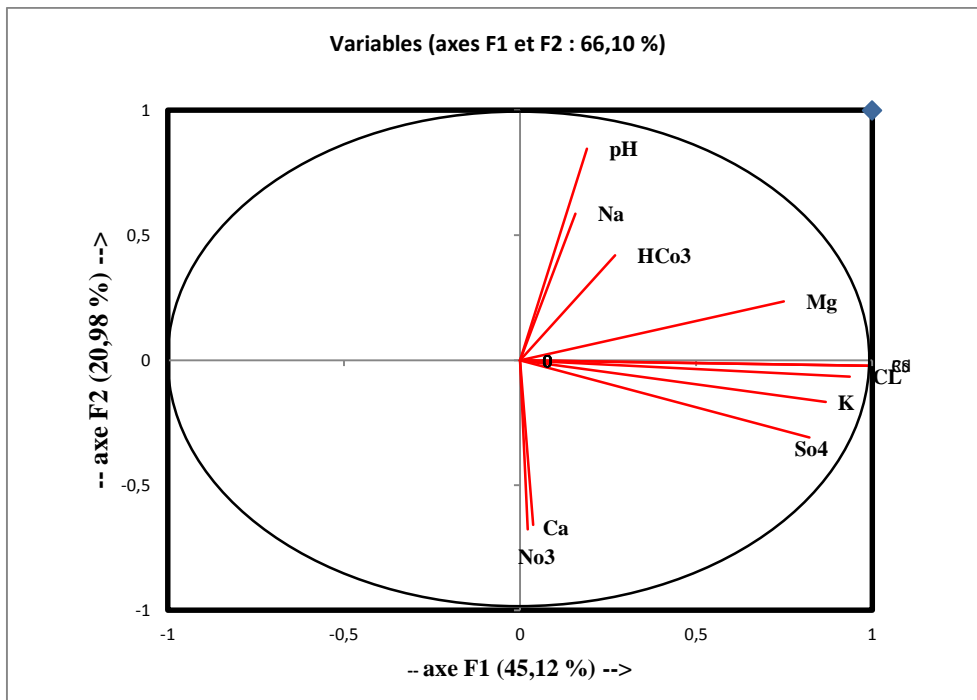


Fig.n°61 : cercle de corrélation des variable plan F1-F2.

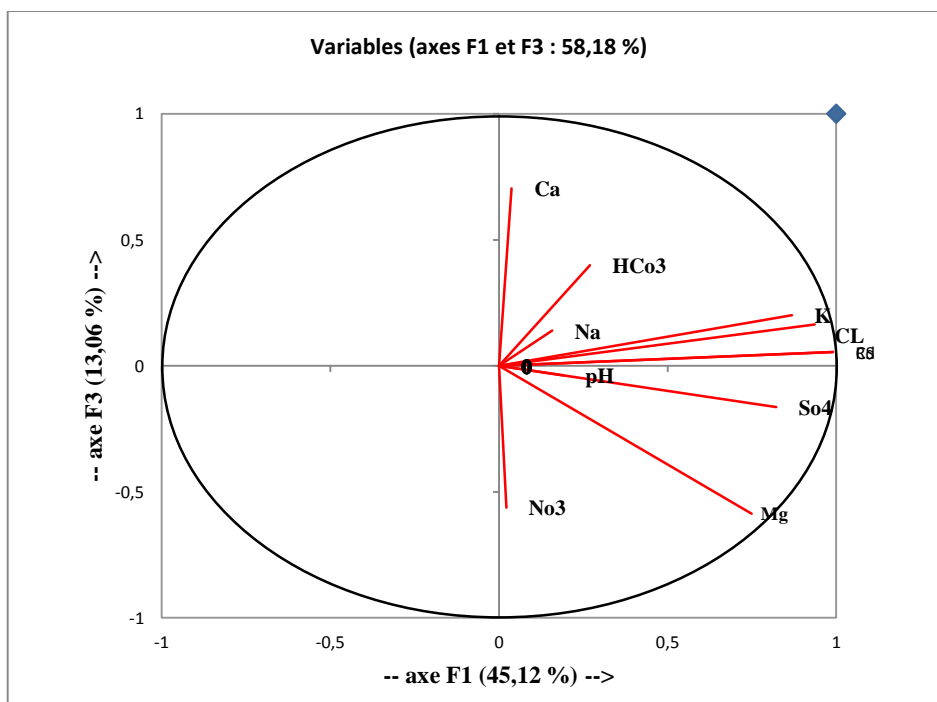


Fig.n°62: cercle de corrélation des variables F1-F3.

**g. Etude des individus :**

La projection du nuage des individus, parallèlement à celle des variables sur le plan des axes factoriels fait apparaitre 02 groupes hydrochimiques :

- **Groupe n° 1** : eaux à minéralisation moyenne :  
 (F1.F2.F3.F4.F5.F7.F9.F10.F11.F12.F13.F14.F15.F16.F18.F19.F21.F22.F27.F28.F30.F32)
- **Groupe n° 2** : eaux très minéralisé (F6.F8.F17.F20.F23 F24.F25.F26.F29.F31).

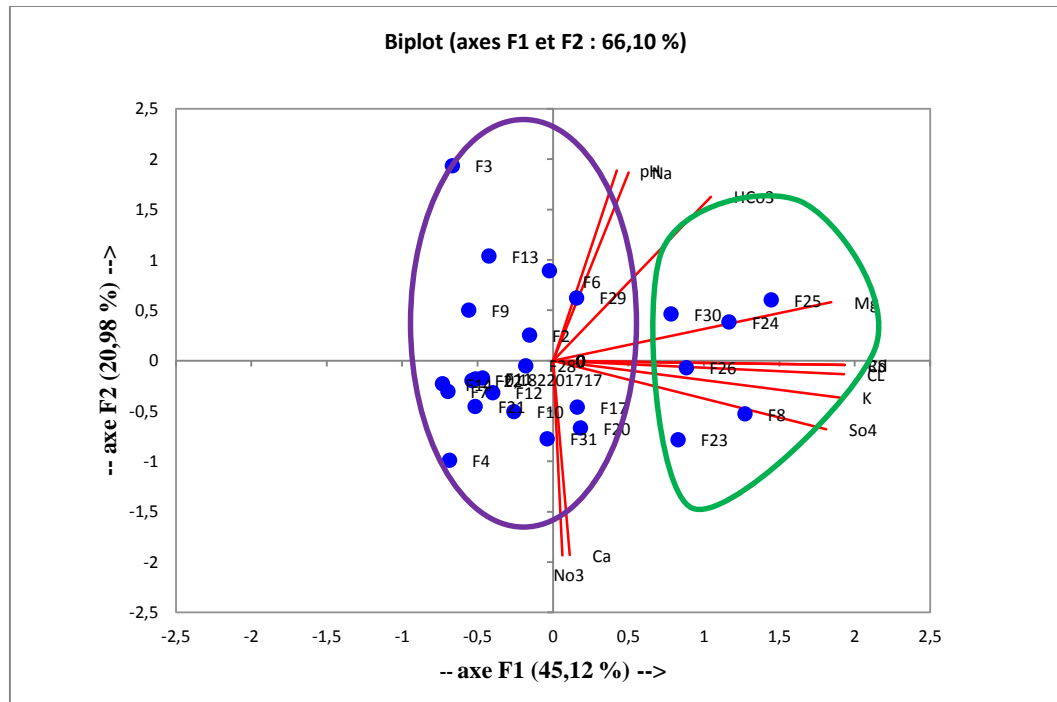


Fig.n°63: étude des variables de la nappe CT selon plan 1-2.

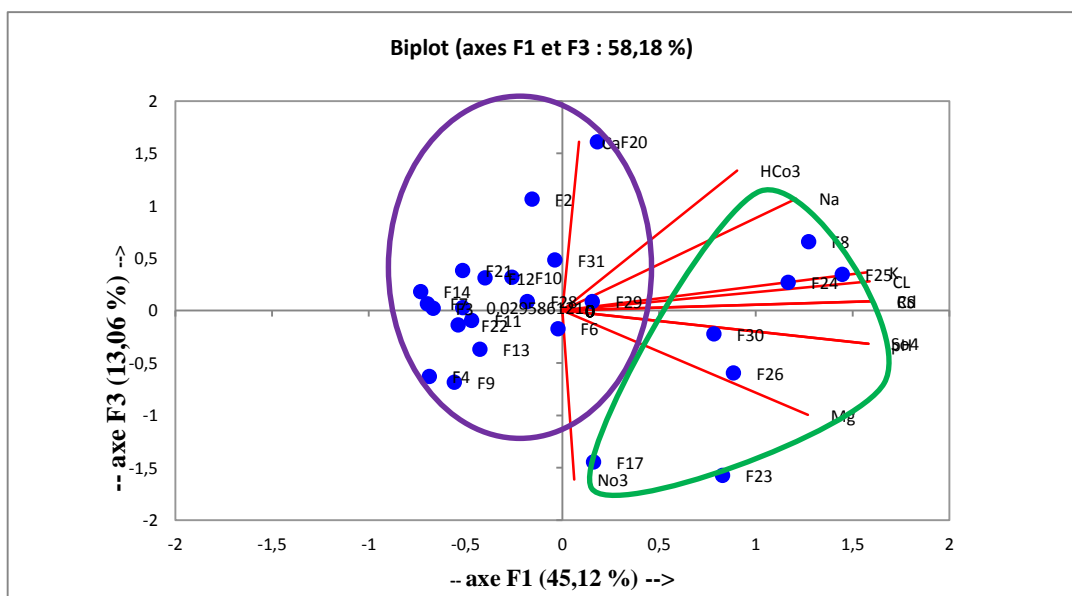


fig.n°64: étude des variables de la nappe CT selon le plan 1-3.



## 11. Conclusion :

Les analyses des eaux de la nappe du Complexe Terminal de la vallée de Ouargla et la cartographie hydrochimique montre que :

- Le ph des eaux est basique ;
- La conductivité est forte au niveau de la vallée ;
- Une variation de la température des eaux de CT qui montre que l'aquifère est très profond ;
- L'évolution spatiale de certains éléments majeurs tels que : (Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>...).

La représentation sur les diagrammes de PIPER, SCHOELLER\_BERKALOFF montrent par une dominance des facies suivants :

- Sulfaté sodique ;
- Chloruré sodique ;
- Sulfaté calcique ;
- Sulfaté magnésien.

Le calcul des indices de saturation des minéraux montre que les eaux de la nappe Complexe Terminal sont sursaturées en minéraux carbonatés (calcite, aragonite et dolomite), alors qu'elles sont sous saturés en minéraux évaporitiques (gypse et anhydrite)

Sur le plan de la qualité chimique et la potabilité les eaux du nappe CT sont très minéralisée, ainsi les valeurs de dureté sont supérieur à 54°F, ce qui donne un caractère très dure.

Le calcul des indices d'échange de base montre que la formation encaissante d'origine sédimentaire, concernant l'aptitude des eaux à l'irrigation, les eaux de la nappe CT présentent des dangers d'alcalinisation de sol. L'augmentation de Chlore et de Sodium montrent une forte restriction de l'irrigation c'est-à-dire une toxication spécifique sur les végétaux.

L'étude statistique (A.C.P) confirme la bonne corrélation de la conductivité et le résidu sec avec les ions Cl, Mg, K, SO<sub>4</sub>, la projection du nuage des individus montre deux groupes :

- Un groupe n°01 à une minéralisation moyenne.
- Un groupe n°02 à une minéralisation élevée.

---

# Conclusion générale

---

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE



La vallée de Ouargla s'inscrit dans un vaste bassin sédimentaire du bas Sahara. Cette région désertique est caractérisé par un climat hyper aride avec un régime très sec marqué par des fortes températures annuelles et des précipitations faibles plus les vents de Sirocco qui soufflent le sud vers la mer méditerranée.

Le système aquifère de la vallée de Ouargla est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe du complexe terminal et nappe du continentale intercalaire), le réservoir de la nappe de complexe terminal est constitué 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 aquifères principaux, séparés localement par des horizons imperméables, La profondeur de la CT varie entre 100 et 500 m.

L'examen de la carte piézométrique montre que le sens d'écoulement général des eaux de la nappe du complexe terminal est du Sud vers le Nord-Est et l'Ouest vers l'Est.

L'interprétation des essais de pompage par la méthode graphique nous permet de définir la transmissivité de la nappe CT qui est moyennement forte et sa perméabilité moyenne.

L'hydrochimie a porté sur les aspects qualitatifs des eaux de la vallée de Ouargla on s'est intéressé aux eaux de la nappe CT .On a commencé 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 sont 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.

- des indices de saturation des minéraux montre que les eaux de la nappe Complexe Terminal sont sursaturées en minéraux carbonatés, alors qu'elles sont sous saturés en minéraux évaporitiques

Pour L'analyse de l'eau destinée à l'irrigation, 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.

La nappe Complexe Terminale montre une surexploitation des nombres de forage au niveau de cette nappe oscille de 619 forage pour les forages exploités 349forages toutefois, les forages CT Non exploités 168 forages et le volume soutiré en Hm<sup>3</sup>/an : 92,31 ce qui indique :

- un rabattement du niveau de la nappe du CT ;
- une gestion irrationnelle de l'exploitation des eaux souterraines ;

En conclusion, quel que soit la destination prévue des eaux de la nappe du Complexe Terminal, ces eaux demandent à être traitée avant usage pour l'AEP et l'irrigation. Ces eau sont très minéralisées, et peuvent causer une forte salinisation des terres agricole L'utilisation de cette eau reste réserver uniquement pour quelques plantes résistants au sel tel que la luzerne, le blé, l'orge et les palmiers.

---

Références  
bibliographiques

---

---

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### A

- AWAD SADEK. (2015). « hydrochimie et faciès géochimiques des eaux souterraines, plaine de BEKAA (LEBAN), Hydrological sciences journal, 56 :2, p : 334-348.

### B

- BORNARD ET GARDEL. (2004). la vallée de Ouargla, « *Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, Mesures complémentaires de la lutte contre la remontée de la nappe, essais de pompage et bilans d'eau établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation de protection des ressources en eau* », rapport de synthèse ; P : 14-20-113.
- BEYAZZA ABD ELMALEK. (2014). « *Evaluation des faciès hydro-chimiques des eaux souterraines de la région d'In Salah (Wilaya de Tamanrasset)* », mémoire de master. Université de Kasdi Merbah, P : 29-30.
- BENHAMIDA SLIMANE. (2015). « *contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe albiennne dans le bassin occidental du S.A.S.S (GOURARA- TOUAT- TIDIKELT)* », mémoire de master. Université Kasdi Merbah.
- BELHAMDOU NOURA. (2013). « *Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du Continental intercalaire de la région de In Salah* », mémoire de master ; Université Kasdi Merbah, Ouargla, P : 59-60.

### C

- CHABOU MOULLAY CHARAF. « *Aperçu sur la géologie de l'Algérie* », cours du module géologie .Université Ferhat Abbas, Sétif, p : 1-2-3.
- CHERGUI SALAH ; LAMRAI AZOUZI. (2014). « *cartographie de la nappe du complexe Terminal et celle de la nappe Continental intercalaire avec mise en place d'un réseau de surveillance sous SIG* ». mémoire de master ; Université de Kasdi Marbah, Ouargla, P : 02-03
- CIDU, R., BIDDAU, R. & FANFANI, L., 2009. « *Impact of past mining activity on the quality of groundwater in SW Sardinia (Italy)* » Journal of Geochemical Exploration, P: 125–132.
- CHRISTIAN PERRIN DE BRICHAMBAUT ; MICHEL LEROG. (1995). « *la mesure de la température de l'aire* », la météorologie 8 séries n° 12, Météo France ; P : 01.

### D

- DUBIEF.J. (1953). « *Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S* », Alger, 457p.

**G**

**GILBERT CASTANY. (2002).** « *Hydrogéologie principes et méthodes* » 2<sup>e</sup> CYCLE, DUNOD.Paris.

**H**

**H. ASKRI, A. BELMECHERI, B. BENRABAH, A. BOUDJEMA, K. BOUMENDJEL, M. DAOUDI, M. DRID, T. GHALEM, A. M. DOCCA, H. GHANDRICHE, A. GHOMARI, N. GUELLATI, M. KHENNOUS, R. LOUNICI, H. NAILI, D. TAKHERIST, M. TERKMANI.** « *Géologie de l'Algérie* », Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement, P : 2-3.

**HELENE WEBER .2014.** « *METHODO: le guide ultra-guide pour vos écrits universitaires (mémoire, thèse, rapport de stage)* », donnezdupens.fr.

**J**

**JEAN FABRE. (2005).** « *GEOLOGIE DU SAHARA OCCIDENTAL ET CENTRAL* » Musée Royal de l'Afrique Central, Tervuren.

**K**

**KHERCHOUFI ABDELHAMID ; IDDER MUSTAPHA. (2014).** « *Contribution à l'étude hydrochimique des eaux de la cuvette de Ouargla (Sahara Septentrional)* ». mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Oran 2, P : 38-44.

**M**

**MIMOUN SALIHA ; ZOUBEID BASMA. (2014).** « *problèmes de la vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'EL-Oued (Sud-Est Algérien)* », Université d'El Oued, P : 11

**N**

**NEZLI IMED EDDINE. (2009).** « *Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla)* ». Thèse de doctorat, Université Mohamed Kheider .Biskra, P : 09-10-11-12-13.

**NAIMA DJEBBARI. (2000).** « *contribution à l'étude hydrochimique de la nappe phréatique de la grande cuvette de Ouargla* », mémoire d'ingénieur d'état. Université d'Oran 2.

**O**

**OSS. (2003).** « *rapport de synthèse : système aquifère du Sahara Septentrional* ». 1<sup>ère</sup> Edition, Observation du Sahara et Sahel.

**OSS (2003) :** « *Système Aquifère du Sahara Septentrional. Observatoire du Sahara et du Sahel.* » Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie.



**R**

- RODIER, J. 1978.** « *L'Analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie.* » (6e ÉDITION), ISBN 10: [2040100377](https://www.isbn-international.org/number/2040100377) Edité par Dunod, Paris.

**S**

- S.OLLAGNIER ; B.VITTECOQ. (2007).** « *Suivie de la qualité des eaux souterraines de Martinique, compagne de raison des pluies 2006 : Résultats et interprétation* », Rapport final.BRGM/RP-55499-FR, P : 23-30-34-38.
- SIMLER. R. (2009).** D I A G R A M M E S. Logiciel d'hydrochimie multilingage, Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. [www.lha.univ-avignon.fr](http://www.lha.univ-avignon.fr)
- Surfer 12.** « *Powerful Contouring, Gridding And 3D Surface Mapping*” User’s Guide. Copyright Golden Software, INC.2014.
- SUAREZ, J. C. ; RAMIREZ, B. ; VELASQUEZ, J. E., 2006.** Biomass production and nutritive value of protein banks established with fodder species for cut-and-carry in the Amazonian foothills of Colombia. *Past. Trop.*, 28 (1), p: 57-61.

**U**

- UNESCO. (1972).** Projet Reg 100. « *Etude des ressources en eau du Sahara septentrional* ». Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris.

**Z**

- ZAIZ ISSAM. (2014).** « *Etude qualitative des eaux de la nappe du Complexe Terminale de la vallée d’Oued-Souf (Sud-Est Algérien)* », mémoire de magister. Université Kasdi Marbah, Ouargla. P : 58-60-68-100-101-103.

**Archive :**

- ANRH. (2008).** « *Note de synthèse piézométrique et hydro-chimique relative à la remontée des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla (basses eaux 1998-2008)* » ; rapport de synthèse. Ouargla.
- ANRH. (2011).** « *inventaire des points d’eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya d’ouargla* » ; rapport de synthèse. Ouargla.
- BENHADDIA.M.AMINE. (2003).** « *Pour une véritable en mise en charge du facteur environnement comme composante de développement durable* » .rapport de synthèse ; p:61-62-63.

### LES SITES WEBS :

- ▣ [http://www.anam.gov.dz/geologie\\_alg/index.php?lien=3&pos=2&lang=fr](http://www.anam.gov.dz/geologie_alg/index.php?lien=3&pos=2&lang=fr)
- ▣ [https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ologie\\_de\\_l%27Alg%C3%A9rie](https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ologie_de_l%27Alg%C3%A9rie)
- ▣ [http://www.club-des-voyages.com/cdv\\_maps/323.jpg](http://www.club-des-voyages.com/cdv_maps/323.jpg)
- ▣ [https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2062222-analyse-en-composantes-principales-acp-avec-xlstat?b\\_id=9283](https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2062222-analyse-en-composantes-principales-acp-avec-xlstat?b_id=9283)
- ▣ <http://www.emse.fr/~bouchardon/enseignement/processus-naturels/up3/web/essais-pompage-2003-e.html>

---

# Anunexes

---

---

	Mois	Moyenne de T MIN EN 1/10 °C	Moyenne de T MAX EN 1/10 °C	Moyenne HUMIDIT E MIN EN %	Moyenne HUMIDITE MAX EN %	FORCE DU VENT Max EN KM/H	Cumul PRECIPITATI ONS EN 1/10 MM
2003	Janvier	64	186	38	79	17	155
	Fevrier	65	189	35	78	14	64
	Mars	100	233	28	75	15	61
	Avril	155	302	20	56	17	0
	Mai	209	354	20	49	20	0
	Juin	250	397	18	44	14	0
	Juillet	294	446	14	35	18	0
	Aout	265	414	16	41	13	0
	Septembre	233	370	24	53	14	0
	Octobre	205	338	26	63	17	4
Novembre	107	241	34	77	12	2	
Décembre	58	185	36	78	17	2	
2004	Janvier	60	190	34	80	15	65
	Fevrier	86	223	28	71	33	0
	Mars	124	262	23	70	20	217
	Avril	156	289	24	62	20	54
	Mai	177	317	24	58	18	0
	Juin	244	393	18	49	17	2
	Juillet	269	416	16	41	15	0
	Aout	289	435	17	45	18	131
	Septembre	224	354	24	56	17	0
	Octobre	186	340	22	56	14	196
Novembre	106	201	51	92	14	433	
Décembre	82	185	43	88	13	80	
2005	Janvier	30	161	40	84	15	2
	Fevrier	48	183	29	70	18	0
	Mars	123	258	24	60	18	10
	Avril	151	298	20	53	19	0
	Mai	214	365	16	42	15	0
	Juin	258	393	17	43	22	0
	Juillet	298	450	13	36	16	0
	Aout	279	422	18	44	15	0
	Septembre	236	365	26	62	17	32
	Octobre	187	323	32	72	15	20
Novembre	115	246	33	73	16	172	
Décembre	54	172	44	87	12	1	
2006	Janvier	40	156	43	86	12	94
	Fevrier	71	198	34	76	19	0
	Mars	117	277	24	59	17	0
	Avril	176	327	17	51	24	12
	Mai	225	367	16	48	21	0
	Juin	248	402	13	35	15	0
	Juillet	283	425	14	37	26	0
	Aout	279	428	16	44	23	0
	Septembre	218	352	24	58	17	30
	Octobre	177	328	25	64	15	59
Novembre	106	250	33	72	13	0	
Décembre	70	188	42	87	11	8	
2007	Janvier	48	200	37	85	10	0
	Fevrier	92	227	28	69	15	0
	Mars	101	243	22	62	18	0
	Avril	149	286	26	69	25	35
	Mai	198	350	19	50	23	3
	Juin	255	420	14	41	15	0
	Juillet	265	414	17	42	14	0
	Aout	276	426	17	44	14	29
	Septembre	256	391	21	51	14	0
	Octobre	184	321	25	60	27	3
Novembre	92	239	30	70	10	0	
Décembre	48	182	38	79	12	61	
2008	Janvier	55	183	44	86	13	57
	Fevrier	61	213	31	79	12	0
	Mars	109	263	26	64	14	12
	Avril	157	319	19	49	20	0
	Mai	211	360	19	48	21	0
	Juin	239	391	21	49	16	4
Juillet	290	449	16	38	20	0	

2009	Aout	280	433	19	45	20	0
	Septembre	246	385	25	55	16	142
	Octobre	187	301	39	79	15	241
	Novembre	98	221	39	85	12	2
	Décembre	54	186	38	85	17	6
	Janvier	68	178	48	91	26	541
	Fevrier	72	203	32	80	15	15
	Mars	101	247	27	74	15	106
	Avril	121	275	25	67	17	8
	Mai	185	344	24	60	14	0
	Juin	254	409	17	45	14	25
	Juillet	287	446	15	39	16	0
2010	Aout	272	430	16	43	14	0
	Septembre	221	361	28	69	16	63
	Octobre	157	308	28	67	10	1
	Novembre	94	255	36	79	11	0
	Décembre	77	229	30	72	17	0
	Janvier	66	216	31	75	16	44
	Fevrier	96	254	30	66	17	0
	Mars	129	281	23	57	24	0
	Avril	171	313	26	60	20	7
	Mai	187	336	21	53	24	17
	Juin	253	413	19	45	19	30
	Juillet	284	439	18	42	25	22
2011	Aout	282	436	20	46	17	0
	Septembre	228	369	29	63	21	77
	Octobre	162	307	26	68	14	39
	Novembre	97	249	34	74	16	0
	Décembre	66	213	29	67	13	0
	Janvier	48	205	40	80	14	0
	Fevrier	56	205	33	72	17	0
	Mars	97	239	30	76	21	111
	Avril	148	307	24	62	30	17
	Mai	186	337	24	55	16	0
	Juin	232	383	23	51	16	0
	Juillet	277	440	18	45	13	0
2012	Aout	263	423	20	44	13	0
	Septembre	251	403	21	49	15	1
	Octobre	151	291	37	78	12	50
	Novembre	102	243	36	80	21	0
	Décembre	52	197	47	90	11	0
	Janvier	35	180	44	86	20	162
	Fevrier	34	173	38	79	20	55
	Mars	88	245	33	74	13	10
	Avril	145	304	24	59	20	35
	Mai	196	355	19	47	20	0
	Juin	274	432	17	43	14	0
	Juillet	286	448	15	37	32	13
2013	Aout	270	431	15	41	15	3
	Septembre	217	382	18	48	15	46
	Octobre	182	334	22	55	12	0
	Novembre	119	263	33	74	14	0
	Décembre	37	199	35	80	12	0
	Janvier	49	202	35	80	25	36
	Fevrier	53	212	30	70	14	0
	Mars	119	286	29	70	19	2
	Avril	154	309	21	58	22	63
	Mai	191	355	11	39	22	0
	Juin	234	398	11	35	22	0
	Juillet	278	435	10	30	16	0
Aout	261	407	13	36	18	24	
Septembre	232	383	16	47	18	0	
Octobre	195	358	16	44	11	0	
Novembre	100	234	26	66	13	46	
Décembre	63	173	47	92	14	245	

Source : ONM de Ouargla

**Coupe litho stratigraphique  
du forage Albien de N'Goussa**

Date de réalisation: 2009  
Propriétaire: GCA Ouargla  
Entreprise réalisatrice: TassilaForageHMD

Coordonnées  
x= 5° 12' 41"  
y= 32° 09' 12"

Côte		Epais.	Lithologie	Etage
0	98	98	Grès, argile et marnes avec présence de calcaire et éléments de quartz	Mio- Pliocène
98	343	245	Intercalation de calcaire, marne et de calcaire marneux de couleur grise et blanchâtre	Eocène
343	468	125	Calcaire dolomitique, argile et évaporites de couleur grise et rouge	Sénonien carbonaté
468	565	97	Marnes grises relativement dures avec présence d'anhydrite, de dolomie, de calcaire et d'un faible % d'argile	
565	645	80	Argile marneuse verte grise et parfois blanche	Sénonien lagunaire
645	856	211	Sel massif parfois fibreux avec des passées d'anhydrite et d'argile	
856	949	93	Calcaire, calcaire marneux gris argileux par endroits	Turonien
949	954	5	Marnes grisâtres avec faible % d'argile et de calcaire	
954	980	26	Argiles plastiques +/- vertes avec des dolomies et anhydrite	Cénomaniien
980	992	12	Marnes grisâtres avec faible % d'argile	
992	1013	21	Argiles plastiques avec faible % de marnes et dolomies	
1013	1130	117	Alternance d'argiles et marnes shisteuses multicolores (noirâtres vers le bas) avec la présence d'évaporites	
1130	1162	32	Marnes grises plus ou moins argileuses avec présence de trace de grés rougeâtre	Albien
1162	1266	104	Marnes argileuses avec des grés, marnes dures grisâtres et marnes gréseuses plus ou moins argileuses	
1266	1403	137	Grés grisâtre plus ou moins argileux avec présence de dolomies et grés rougeâtre plus ou moins argileux	
1403	1426	23	Dolomies avec présence de grés	
				Aptien

Noclas	nom	typ_ouv	Aquifere	Nappe	Wilaya	Commune	Longit	Latitu	Xdec	Ydec	NP (m)	Altitu	Proinv	Nivrep
X03001006	HB - 8	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	ROUISSAT	05°03'49"	31°50'35"	5,06361111	31,84305556	136,00	215,00	210,00	79,00
X03001007	HB - 9	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	ROUISSAT	05°03'48"	31°50'46"	5,06333333	31,84611111	142,00	214,00	215,00	72,00
X03001008	SP 2 - F4	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	ROUISSAT	04°44'54"	32°10'34"	4,74833333	32,17611111	149,00	253,00	250,00	104,00
X03001012	D1 F146	Forage	CT	Mio-Pliocène	OUARGLA	OUARGLA	05°27'14"	31°56'44"	5,45388889	31,94555556	116,50	125,00	182,00	8,50
X03001013	D3 F39	Forage	CT	Mio-Pliocène	OUARGLA	OUARGLA	05°20'15"	31°55'33"	5,3375	31,92583333	119,50	132,00	97,00	12,50
X03001014	Ouargla Sénonien	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	OUARGLA	05°14'30"	30°54'28"	5,24166667	30,90777778	141,00	160,00	280,00	19,00
X03001015	D1 F163	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	OUARGLA	05°18'24"	31°57'14"	5,30666667	31,95388889	121,50	130,00	160,00	8,50
X03001017	D9 F31	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	OUARGLA	05°10'45"	31°54'38"	5,17916667	31,91055556	132,50	166,00	250,00	33,50
X03001019	Complexe D05 F155	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	OUARGLA	05°09'14"	31°58'44"	5,15388889	31,97888889	101,16	120,00	142,00	18,84
X03001020	Ceinture Verte 2 D5 F154	Forage	CT	Mio-Pliocène	OUARGLA	OUARGLA	05°18'43"	31°57'55"	5,31194444	31,96527778	94,00	129,00	91,00	35,00
X03001023	Bougurra D03 F38	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	ROUISSAT	04°44'52"	31°57'25"	4,74777778	31,95694444	132,86	216,00	129,00	83,14
X03001024	Kef Soltane 2 D3 F40	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	OUARGLA	05°18'39"	31°57'50"	5,31083333	31,96388889	140,00	160,00	160,00	20,00
X03001026	Park Distraction D01 F162	Forage	CT	Mio-Pliocène	OUARGLA	OUARGLA	05°18'41"	31°57'48"	5,31138889	31,96333333	113,40	121,00	70,60	7,60
X03001027	D01 F163	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	OUARGLA	05°18'25"	31°57'12"	5,30694444	31,95333333	135,50	144,00	160,00	8,50
X03001028	D01 F164	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	OUARGLA	05°18'27"	31°57'33"	5,3075	31,95916667	107,00	145,00	151,00	38,00
X03001029	D7 F12	Forage	CT	Sénonien	OUARGLA	OUARGLA	05°17'03"	31°59'11"	5,28416667	31,98638889	103,77	132,00	132,00	28,23





**Les palmeraies de Sidi Khouiled de la vallée de Ouargla.**

## Les analyses chimiques des eaux souterraines de la nappe Complexe Terminal de la vallée de Ouargla

N°	Nom	Ca	Mg	K	Na	CL	So4	HCO3	No3	Résidu_Sec	TH	pH	Cd (mmho/cm)	T (°C)	Méniratisation	Nappe	Date Analyse Chimique
F1	Mekhadma	173,8	104,94	17	407,5	532,5	787,5	98	42	2182	86,6	7,75	4,364	23	1677,4	CT	2014
F2	Mekhadma	233	105	24	465	790	650	105	11	2572	102	8,08	5,144	22	2887	CT	2014
F3	Mekhadma	70	162	14	2225	400	575	107	12	1724	85	8,4	3,448	23,5	1973	CT	2014
F4	Mekhadma	213,3	110,05	16	110,05	445	1025	10	48	1868	98,6	7,67	3,736	22,6	1480,05	CT	2014
F5	Mekhadma	172,5	107,5	17	402,5	525	837,5		25,5	2134	87,3	7,75	4,268	24	1631,85	CT	2014
F6	Mekhadma	83	203	23	400	710	788	100	10	2554	105	8,34	5,108	23,23	2839	CT	2014
F7	Mekhadma	213,3	112,6	15	265	435	831,25	85	37	1848	99,6	7,8	3,696	23,2	1338,38	CT	2014
F8	Beni-Thour	251,7	192	37,5	705	1325	1200	102	45	4152	141,9	7,88	8,304	23	3028,41	CT	2014
F9	Beni-Thour	103	159	14	263	515	720	85	41	2064	91	8,4	4,128	22,5	1738	CT	2014
F10	Ouargla	256,7	122,94	20	386,3	655	862,5	76	41	2462	114,7	7,83	4,924	24,5	183,78	CT	2014
F11	Ouargla	160	126,71	16,5	403,6	520	931,25	79	28	2172	90	7,66	4,344	23	1609,08	CT	2014
F12	Ouargla	226,7	120,38	16	310	525	1000	122	40	2132	106,1	7,75	4,264	23,5	1578,72	CT	2014
F13	Mekhadma	105	167	17	213	450	736	128	36	2074	95	8,87	4,148	25	2042	CT	2014
F14	Said Otba	205	106,26	12	250	380	881,25	140	46,5	1760	94,9	7,7	3,52	23,5	1335,84	CT	2014
F15	Ouargla	220	122,94	14,5	266,3	462,5	775		56	1946	105,5	8	3,892	22,5	1480,05	CT	2014
F16	Ouargla	88	144	12	202	350	590	73		1616	81	7,7	3,232	23	1586	CT	2014
F17	Ouargla	100	264	20	385	800	1100	88	77	2594	134	7,7	5,188	25	2831	CT	2014
F18	Mekhadma	276,7	133,15	24	465	790	937,5		49,5	2842	123,9	7,8	5,684	22,3	2132,8	CT	2014
F19	Rouissat	361,7	152,36	31,8	680	840	1781,25		353	3512	153	7,76	7,024	23	2679,27	CT	2014
F20	Sidi Kouiled	333,3	37	27,5	600	880	975	131	39	2982	98,5	7,72	5,964	22,5	2337,72	CT	2014
F21	Sokra	212	101	20	355	600	640	100	41	2192	95	7,5	4,384	25,2	2823	CT	2014
F22	Sokra	160	113,94	17,8	377,5	465	887,5	102	44	1980	86,8	7,74	3,96	25	1563,54	CT	2014
F23	Rouissat	123	336	30	445	775	1300	88	86	3506	169	7,59	7,012	22,3	2957	CT	2014
F24	Rouissat	163	251	30	713	1000	1440	134	19	4002	144	8,14	8,004	23	3658	CT	2014
F25	chott	180	297	31	725	1140	1390	143	18	4370	167	8,38	8,74	24	3939	CT	2014
F26	N'goussa	167	271	22	620	1125	1140	79	51	3980	153	8,12	7,96	20	3894	CT	2014
F27	N'goussa	140	234	12	265	465	1000	116	21	2566	131		5,132	22	2285	CT	2014
F28	El Bour	173,8	130,6	17	407	610	975	146	51	2478	97,1	7,87	4,956	23	1905,1	CT	2014
F29	N'goussa	143	210	15	409	800	983	134	18	2982	122	8,16	5,964	23,5	2755	CT	2014
F30	Hassi Ben Abdellah	150	276	24	550	875	1165	113	27	3748	151	8,27	7,496	32,56	3378	CT	2014
F31	Hassi Ben Abdellah	306,7	133,15	20,8	425	635	1112,5	85	44,5	2666	131,4	7,77	5,332	24	1981	CT	2014
F32	Hassi Ben Abdellah	266	124,15	18,3	375	715	675		34	2670	117,7	7,83	5,34	23	1889,91	CT	2014



**Faire des mesures du niveaux statistiques dans un quelque piézomètres au niveau près de Sebkhata de OUM EL RANEB.**





**Sebkha de OUM EL RANEB au niveau de la vallée de Ouargla.**



**Les dunes de la vallée de Ouargla Sidi Khouiled .**



**Prendre des échantillons pour faire des analyses physique (conductivité-ph- température) ainsi déterminer les coordonnées avec GPS de forage au cours de développement dans la commune de Sidi Khouiled la vallée de Ouargla.**

## Essai de pompage : forage de Ain Kadour

- -Niveau statique :  $N_s = 11,66\text{m}$
- -Essais de débit réalisés avec une pompe immergée de 37KW
- un groupe électrogène de 150KVA.
- Niveau relevé avec une jauge électrique.
- Débit mesuré avec un débitmètre à ultra-son.

temps (h)	temps(min)	nd=niveau dynamique	ns=niveau statique	s(m)
1	60	18	11,66	6,34
2	120	19,29	11,66	7,63
3	180	19,98	11,66	8,32
5	300	20,51	11,66	8,85
7	420	21,03	11,66	9,37
9	540	21,61	11,66	9,95
11	660	22,01	11,66	10,35
13	780	22,28	11,66	10,62
15	900	22,5	11,66	10,84
20	1200	22,64	11,66	10,98
25	1500	22,79	11,66	11,13
30	1800	22,9	11,66	11,24
40	2400	22,94	11,66	11,28
50	3000	22,98	11,66	11,32
0	0	23,1	11,66	11,44
75	4500	23,22	11,66	11,56
90	5400	23,3	11,66	11,64
105	6300	23,38	11,66	11,72
120	7200	23,47	11,66	11,81
135	8100	23,55	11,66	11,89
150	9000	23,64	11,66	11,98
165	9900	23,73	11,66	12,07
180	10800	23,79	11,66	12,13
195	11700	23,82	11,66	12,16
210	12600	23,85	11,66	12,19
225	13500	23,88	11,66	12,22
240	14400	23,9	11,66	12,24
270	16200	23,95	11,66	12,29
300	18000	24	11,66	12,34
330	19800	24,03	11,66	12,37
360	21600	24,05	11,66	12,39
390	23400	24,07	11,66	12,41
420	25200	24,09	11,66	12,43
450	27000	24,09	11,66	12,43
480	28800	24,1	11,66	12,44
540	32400	24,12	11,66	12,46
600	36000	24,14	11,66	12,48
660	39600	24,15	11,66	12,49
720	43200	24,16	11,66	12,5
780	46800	24,17	11,66	12,51
840	50400	24,18	11,66	12,52
900	54000	24,18	11,66	12,52
960	57600	24,19	11,66	12,53
1020	61200	24,19	11,66	12,53
1080	64800	24,2	11,66	12,54
1140	68400	24,2	11,66	12,54
1200	72000	24,2	11,66	12,54
1260	75600	24,21	11,66	12,55
1320	79200	24,21	11,66	12,55
1380	82800	24,22	11,66	12,56
1440	86400	24,22	11,66	12,56
1560	93600	24,23	11,66	12,57

1680	100800	24,24	11,66	12,58
1800	108000	24,25	11,66	12,59
1920	115200	24,26	11,66	12,6
2040	122400	29,27	11,66	17,61
2160	129600	24,27	11,66	12,61
2280	136800	24,28	11,66	12,62
2400	144000	24,29	11,66	12,63
2520	151200	24,3	11,66	12,64
2640	158400	24,3	11,66	12,64
2820	169200	24,32	11,66	12,66
3000	180000	24,34	11,66	12,68
3180	190800	24,35	11,66	12,69
3360	201600	24,36	11,66	12,7

### Essai de pompage : forage de El Wifak n°02

- -Niveau statique :  $N_s = 26,54\text{m}$
- -Essais de débit réalisés avec une pompe immergée de 26KW
- un groupe électrogène de 150KVA.
- Niveau relevé avec une jauge électrique.
- Débit mesuré avec un débitmètre à ultra-son.

temps (h)	temps(min)	nd=niveau dynamique	ns=niveau statique	s(m)
1	60	29,49	26,54	2,95
2	120	29,56	26,54	3,02
3	180	29,62	26,54	3,08
5	300	29,67	26,54	3,13
7	420	29,71	26,54	3,17
9	540	29,82	26,54	3,28
11	660	29,85	26,54	3,31
13	780	29,88	26,54	3,34
15	900	29,91	26,54	3,37
20	1200	29,94	26,54	3,4
25	1500	29,97	26,54	3,43
30	1800	29	26,54	2,46
40	2400	30,03	26,54	3,49
50	3000	30,06	26,54	3,52
0	0	30,09	26,54	3,55
75	4500	30,11	26,54	3,57
90	5400	30,13	26,54	3,59
105	6300	30,15	26,54	3,61
120	7200	30,16	26,54	3,62
135	8100	30,18	26,54	3,64
150	9000	30,19	26,54	3,65
165	9900	30,2	26,54	3,66
180	10800	30,21	26,54	3,67
195	11700	30,22	26,54	3,68
210	12600	30,23	26,54	3,69
225	13500	30,24	26,54	3,7
240	14400	30,25	26,54	3,71
270	16200	30,27	26,54	3,73
300	18000	30,29	26,54	3,75
330	19800	30,31	26,54	3,77
360	21600	30,33	26,54	3,79
390	23400	30,35	26,54	3,81



420	25200	30,37	26,54	3,83
450	27000	30,37	26,54	3,83
480	28800	30,38	26,54	3,84
540	32400	30,39	26,54	3,85
600	36000	30,4	26,54	3,86
660	39600	30,41	26,54	3,87
720	43200	30,42	26,54	3,88
780	46800	30,43	26,54	3,89
840	50400	30,44	26,54	3,9
900	54000	30,45	26,54	3,91
960	57600	30,46	26,54	3,92
1020	61200	30,47	26,54	3,93
1080	64800	30,48	26,54	3,94
1140	68400	30,49	26,54	3,95
1200	72000	30,5	26,54	3,96
1260	75600	30,51	26,54	3,97
1320	79200	30,53	26,54	3,99
1380	82800	30,54	26,54	4
1440	86400	30,55	26,54	4,01
1560	93600	30,59	26,54	4,05
1680	100800	30,64	26,54	4,1
1800	108000	30,68	26,54	4,14
1920	115200	30,71	26,54	4,17
2040	122400	30,73	26,54	4,19
2160	129600	30,75	26,54	4,21
2280	136800	30,77	26,54	4,23
2400	144000	30,79	26,54	4,25
2520	151200	30,81	26,54	4,27
2640	158400	30,83	26,54	4,29
2820	169200	30,84	26,54	4,3
3000	180000	30,86	26,54	4,32
3180	190800	30,87	26,54	4,33
3360	201600	30,88	26,54	4,34

### Essai de pompage : forage de El Wifak n°03

- -Niveau statique :  $N_s = 25,06\text{m}$
- -Essais de débit réalisés avec une pompe immergée de 26KW
- un groupe électrogène de 150KVA.
- Niveau relevé avec une jauge électrique.
- Débit mesuré avec un débitmètre à ultra-son.

temps (h)	temps(min)	nd=niveau dynamique	ns=niveau statique	s(m)
1	60	30,56	25,06	5,5
2	120	30,63	25,06	5,57
3	180	30,69	25,06	5,63
5	300	30,74	25,06	5,68
7	420	30,78	25,06	5,72
9	540	30,82	25,06	5,76
11	660	30,86	25,06	5,8
13	780	30,89	25,06	5,83
15	900	30,92	25,06	5,86
20	1200	30,95	25,06	5,89
25	1500	30,98	25,06	5,92

30	1800	31,01	25,06	5,95
40	2400	31,05	25,06	5,99
50	3000	31,08	25,06	6,02
0	0	31,1	25,06	6,04
75	4500	31,12	25,06	6,06
90	5400	31,13	25,06	6,07
105	6300	31,14	25,06	6,08
120	7200	31,15	25,06	6,09
135	8100	31,17	25,06	6,11
150	9000	31,19	25,06	6,13
165	9900	31,2	25,06	6,14
180	10800	31,22	25,06	6,16
195	11700	31,24	25,06	6,18
210	12600	31,26	25,06	6,2
225	13500	31,28	25,06	6,22
240	14400	31,3	25,06	6,24
270	16200	31,31	25,06	6,25
300	18000	31,32	25,06	6,26
330	19800	31,32	25,06	6,26
360	21600	31,33	25,06	6,27
390	23400	31,35	25,06	6,29
420	25200	31,38	25,06	6,32
450	27000	31,4	25,06	6,34
480	28800	31,43	25,06	6,37
540	32400	31,45	25,06	6,39
600	36000	31,49	25,06	6,43
660	39600	31,5	25,06	6,44
720	43200	31,51	25,06	6,45
780	46800	31,53	25,06	6,47
840	50400	31,53	25,06	6,47
900	54000	31,49	25,06	6,43
960	57600	31,46	25,06	6,4
1020	61200	31,43	25,06	6,37
1080	64800	31,39	25,06	6,33
1140	68400	31,35	25,06	6,29
1200	72000	31,33	25,06	6,27
1260	75600	31,34	25,06	6,28
1320	79200	31,34	25,06	6,28
1380	82800	31,35	25,06	6,29
1440	86400	31,36	25,06	6,3
1560	93600	31,37	25,06	6,31
1680	100800	31,38	25,06	6,32
1800	108000	31,39	25,06	6,33
1920	115200	31,4	25,06	6,34
2040	122400	31,41	25,06	6,35
2160	129600	31,43	25,06	6,37
2280	136800	31,45	25,06	6,39
2400	144000	31,47	25,06	6,41
2520	151200	31,49	25,06	6,43
2640	158400	31,55	25,06	6,49
2820	169200	31,54	25,06	6,48
3000	180000	31,58	25,06	6,52
3180	190800	30,6	25,06	5,54
3360	201600	30,61	25,06	5,55

## ***RESUME***

La vallée de Ouargla est située au Sud-Est Algérien, possède deux aquifères :

- la nappe du Complexe Terminal.
- la nappe du Continental Intercalaire.

L'étude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe Complexe Terminal de cette région montre que le sens d'écoulement des eaux souterraines est du Sud vers le Nord-Est et de l'Ouest vers l'Est. L'interprétation des essais de pompage indique une forte transmissivité et la perméabilité de la moyenne, tandis que l'eau souterraine de ce réservoir ne convient pas à la consommation potable. Ce qui exige le traitement avant l'utilisation.

L'exploitation de cette nappe sans utilisation rationnelle conduit à un rabattement de son niveau.

*Mots clés* : Complexe Terminal – nappe – hydrogéologique – eau souterraine – Ouargla.

## ***ABSTRACT***

The valley of Ouargla is located in the South-East Algerian, has two aquifers:

- the Terminal Complex-
- the sheet of the Continental Intercalaire.

The hydrogeological and hydrochemical study of the Terminal Complex aquifer of this region shows that the direction of groundwater flow is from the South to the Northeast and from the West to the East. Interpretation of pumping tests indicates high transmissivity and permeability of the mean, whereas the groundwater of this tank is not suitable for drinking. This requires treatment before use. The exploitation of this water table without rational use leads to a reduction of its level.

**Key words:** Complex Terminal - aquifer - hydrogeological - groundwater - Ouargla.