



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

DÉPARTEMENT HYDRAULIQUE ET GENIE CIVIL

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

En vue de l'obtention du Diplôme de master professionnel

Domaine : Science appliquée

Filière : Hydraulique

Option : Forage d'eau

THEME

Contribution à l'analyse de la variation de la nappe superficielle
de la ville de OUARGLA

Réalisé par :

BELAID Issam

Jury :

- **BEN LARBI D**
- **MOUKHLOFI N**
- **SAGGAI SOFIANE**

MCA
DOCTORANT
MCA

Président **UKMO**
Examination **UKMO**
Encadreur **UKMO**

Juin 2019

Remerciements

Avant tous je remerciais Allah, le très miséricordieux qui grâce à lui nous sommes arrivées à ce stade. Ce travail a été dirigé par Monsieur Saggai Sofiane Docteur à l'université de Ouargla. Qu'il trouve ici le témoignage de nos profondes gratitudes pour ses conseils, ses remarques et sa disponibilité tout au long de cette étude. Nous tenons à lui exprimer notre profonde reconnaissance pour la patience et la bienveillance dont

elle Nos remerciements vont également aux :

*Personnel de l'ONM de Ouargla. Personnel
de l'ANRH de Ouargla.*

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail A ma
mère et mon père et A ma femme
et mon enfant (Iyad) et A mes
frères et Ma soeur et ses enfants et
A toute ma famille
Au Monsieur*

Ghaia mohammed nour addine

SOMMAIRE

Sommaire.....	1
Liste des figures.....	4
Liste des tableaux.....	6
Introduction générale.....	7

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

1-1 introduction.....	8
1-2 Situation géographique.....	8
1-3 Cadre géomorphologique.....	10
1-4 Réseau hydrographique.....	12
1-4-1- Oued Mya.....	12

Chapitre II : Contexte climatologique

2-1 Introduction.....	13
2-2 Analyse des paramètres climatique.....	13
2-2-1 La pluviométrie.....	13
2-2-1-1 La précipitation moyenne mensuelle.....	13
2-2-2 La température.....	14
2-2-3 humidité de l'air.....	14
2-2-4 Evaporation de l'air.....	15
2-2-5 Les vitesses de vent.....	16
2-2-6 Nombre d'heure diurne.....	16
2-3- Conclusion.....	17

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

3-1 Introduction.....	18
3-2 Le Continental Intercalaire.....	18
3-3 Le Complexe Terminal.....	18

3-4 Les aquifères utiles dans la région de ouargla	19
3-5 La nappe phréatique	20
3-5-1 Généralités sur la Nappe phréatique de la région de ouargla	20
3-5-2 Facies lithologique géologie	21
3-5-3- Etude piézométrique de la nappe phréatique	22
3-5-3-1- La carte piézométrique	22
3-5-3-2- Interprétation de la carte piézométrique	23
3-5-4 Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe	24
3-5-4-1 Granulométrie	24
3-5-4-2 Porosité	25
3-5-4-3 Perméabilité et Transmissivité	25
3-5-4-4 Coefficient d'emménagement	25
3-5-5- Essais de pompage	25
3-5-5-1- Introduction	25
3-5-5-2- Resultats et interprétation	25
3-5-6- Bilan hydrique de la nappe superficielle	26
3-5-6-1- Equation du bilan d'eau	26
3-5-6-1-1- Entrées	26
3-5-6-1-2- Sorties	27
3-5-6-2- Estimation des termes du bilan d'eau	27
3-5-6-3- Résumé du bilan d'eau	29
3-5-7- Problèmes de la remontée des eaux	29
3-5-8- Conclusion	31

Chapitre IV : hydrochimie

4-1- Introduction	32
4-2- Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ)	32
4-2-1- Température de l'eau (°C)	32
4-2-2- Potentiel d'Hydrogène (pH)	32

4-2-3- PH d'équilibre.	33
4-2-4- La conductivité électrique	33
4-2-5- Dureté et alcalinité des eaux	33
4-3- La carte de la minéralisation des eaux de la nappe superficielle	34
4-4- La carte de la conductivité des eaux de la nappe superficielle	35
4-5- La relation entre la minéralisation et la conductivité	36
4-7- Faciès chimiques des eaux	36
4-7-1- Classification de SCHOELLER-BERKALOFF	36
4-7-1-1- L'interprétation des résultats	40
4-7-2- Classification de Piper	41
4-7-2-1- Interprétation des résultats	45
4-7-3- Classification de STABLER	45
4-7-3-1- Interprétation des résultats	46
4-5- Conclusion	46
5- conclusion générale.	47
6- Bibliographie	48
7- annexe.	50

Liste des figures

Figure 1-1 : Carte de situation géographique	8
Figure 1-2 : Délimitation de la cuvette de ouargla	9
Figure 1-3 : Coupe géomorphologique schématique de la vallée de ouargla (Lelièvre, 1969)	12
Figure 2-1 Précipitation moyenne mensuelle période (2007-2018)	13
Figure 2-2 Température moyenne mensuelle période (2007-2018)	14
Figure 2-3 Humidité moyenne mensuelle période (2007-2018).....	15
Figure 2-4 Evaporation moyenne mensuelle période (2007-2018)	15
Figure 2-5 Vitesses moyenne mensuelle des vents période (2007-2018)	16
Figure 2-6 Nombre moyenne mensuelle d'heure diurne période (2007-2018)	17
Figure 3-1: Coupe hydrogéologique a travers le Sahara (UNESCO 1972)	19
Figure 3-2 : Colonne stratigraphique des différents aquifères (ANRH 2004)	20
Figure 3-3 : Log géologiques des formations de la nappe phréatique (ENAGEO1992)	21
Figure 3-4 : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la ville de ouargla en 2012	22
Figure 3-5 : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la ville de ouargla en 2017.....	23
Figure 3-6 : L'évolution de la remontée des eaux de la nappe phréatique au cours du temps.....	30
Figure 4-1 : carte de la minéralisation des eaux de la nappe superficielle de ouargla en 2012....	34
Figure 4-2 : carte de la conductivité ne $\mu\text{s}/\text{cm}$ de la nappe superficielle de ouargla en 2012....	35

Figure 4-3 : la relation entre la minéralisation et la conductivité des eaux de la nappe superficielle dans la ville de ouargla en 2012.....36

Figure 4-4 : représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe superficielle dans la ville de ouargla sur le diagramme de Schoeler-Berkaloff..... 37

Figure 4-5 : représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe phréatique dans la ville de ouargla sur le diagramme de piper 41

Liste des tableaux

Tableau 2-1: Précipitation moyenne mensuelle (mm), période (2007-2018)	13
Tableau 2-2: Température moyenne mensuelle (°C), période(2007-2018)	14
Tableau 2-3: Humidité moyenne mensuelle (%), période 2007-2018.....	14
Tableau 2-4: Evaporation moyenne mensuelle en mm, période 2007-2018.....	15
Tableau 2-5: Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s), période 2007-2018.....	16
Tableau 2-6: Nombre moyenne mensuelle d'heure diurne en heures, période(2007-2018)	16
Tableau 3-1 : Résultats des essais de pompage(ONA-BG, 2003)	25
Tableau 3-2 : Bilan d'eau de la ville d'Ouargla (ONA 2003)	29
Tableau 4-1 : Classification d'une eau selon sa dureté.....	33
Tableau 4-2 : Classification de STABLER.....	45
Tableau - Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe phréatique.....	50
Tableau - Classification des eaux selon STABLER.....	51
Tableau - Des mesures de piezometre dans la ville de ouargla 2012 - 2017.....	52

Introduction générale

Le Sahara renferme d'importantes réserves d'eau souterraines qui sont à la base du développement agricole et urbain dans cette zone. Il est constitué de deux principales couches aquifères qui sont très peu renouvelables et ne sont pas exploitables en totalité : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal. (UNESCO (1972)).

Devant le développement agricole et industriel d'une part, et la croissance démographique d'autre part, les besoins en eau au Sahara algérien ont augmenté d'une manière très rapide. Ceci a conduit les gestionnaires des ressources en eau à prospecter et réaliser plus des forages, des puits et des ouvrages hydrauliques. (A.N.R.H).

La région de Ouargla a été touchée directement par ce problème. En effet plusieurs facteurs ont facilité la remontée et la stagnation des eaux en surface, parmi ces facteurs, on peut citer :

- Exploitation des nappes artésiennes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT) sans contrôle de manière générale dont les débits viennent recharger la nappe superficielle relevant ainsi son niveau piézométrique. (A.N.R.H)

- Augmentation des rejets urbains et industriels dont l'évacuation hors des limites de la ville est problématique du fait de sa situation au fond de la cuvette. Ces volumes d'eau, de surcroît non traités, en s'infiltrant dans la nappe phréatique contribuent au relèvement de son niveau piézométrique tout en la polluant. (O.N.A)

Le phénomène de la remontée des eaux a pris des dimensions telles que les conséquences sont graves sur l'environnement, l'agriculture etc

L'objectif de ce travail consiste à identifier et étudier les différents paramètres qui contribuent à ce phénomène après la réalisation du méga projet de la lutte contre la remontée des eaux de la nappe phréatique. L'étude hydrogéologique nous permet de préciser le niveau d'eau de la nappe phréatique, et de même le sens d'écoulement d'après la réalisation de la carte piézométrique de la ville de Ouargla. L'étude géochimique nous donne les éléments majeurs qui contiennent dans les eaux de cette nappe et de connaître les différents faciès chimiques dominants dans la nappe superficielle. Ainsi que de rechercher des solutions palliatives pour les rejets urbains et industriels de la ville de Ouargla.

1-1- Introduction:

La région de Ouargla, par sa position géographique centrale et de sa proximité aux bassins pétroliers et gaziers, s'installe progressivement comme le centre administratif, technique et industriel du territoire saharien (Figure. I.1).

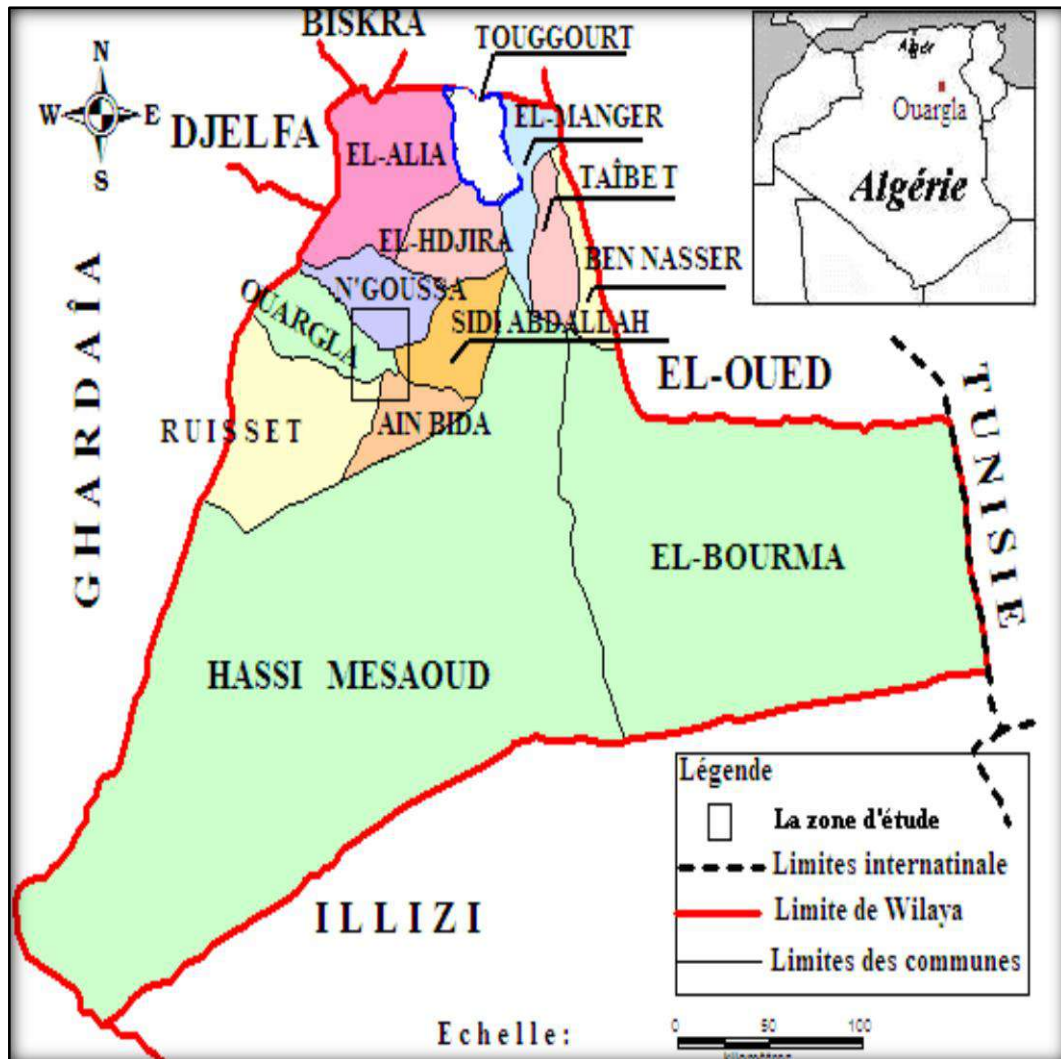


Figure 1-1 : Carte de situation géographique

1-2- Situation géographique:

La ville de Ouargla se situe dans une dépression, elle inclut les agglomérations, Rouissat, Ain El Beida, Sidi Khouiled et N'goussa.

Cette dépression ou s'étend entre les coordonnées (UTM):

X = 710 000 ; Y = 3 530 000 et

X = 730 000 ; Y = 3 550 000

Elle présente une superficie totale de 40 000 ha est limitée:

- Au Nord par N'goussa.
- A l'Est par les Ergs de Touil .
- Au Sud par Djebel Abbad.
- A l'Ouest par Erg arma (Fig. I.2).

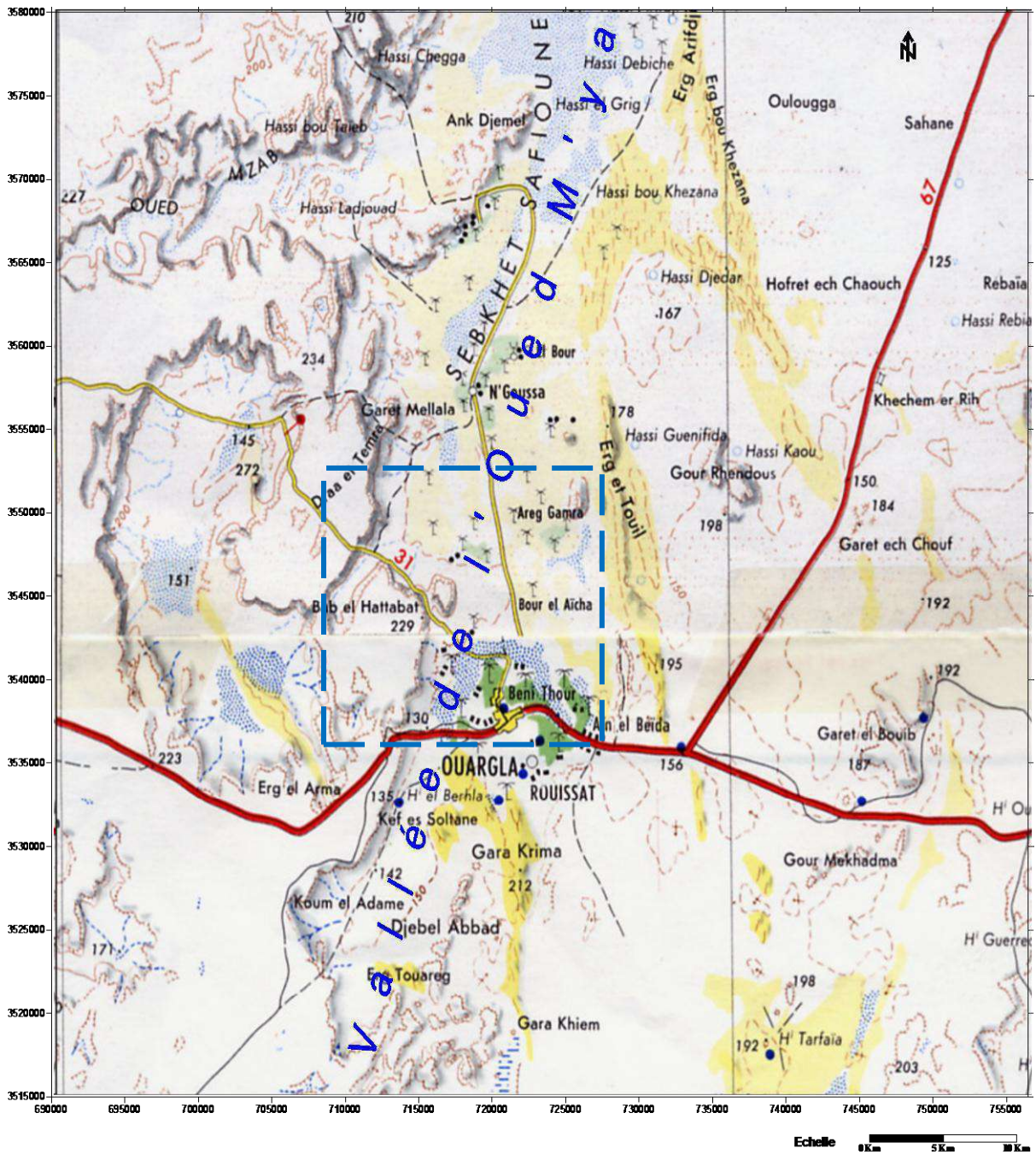


Figure 1-2 : Délimitation de la cuvette de Ouargla

1-3-Cadre géomorphologique:

L'étude géomorphologique de la région de Ouargla fait apparaître les éléments suivants (Figure. I.2 et I.3):

- A l'Ouest de Ouargla, la vallée est limitée par le plateau de la Hamada pliocène de 200 à 250 m d'altitude, appelé localement "plateau des Gantra". Il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Il est interrompu par une vaste dépression ovale de sebkhet Mellala (30 Km de long, de 6 à 11 Km de large, 80 à 90 m de profondeur), qui s'étend parallèlement à la vallée de l'Oued Mya. D'après Capot- Rey (1959); cette dépression peut être considérée comme un phénomène karstique.

La dissymétrie de la vallée de l'Oued Mya est marquée par la présence d'une falaise gréseuse occidentale, particulièrement nette et continue, avec une pente très abrupte, tandis que la limite orientale est beaucoup plus imprécise.

- Le versant Ouest de la cuvette présente quatre niveaux étagés de glacis caractéristiques, le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau en buttes. Sa couverture très caractéristique est une croûte gypso-calcaire épaisse de 1,5 m; son altitude s'abaisse de 225 m à l'Ouest à 200 m environ à l'Est; son exiguïté le rend souvent difficile à distinguer de la surface du plateau de la

Hamada. C'est-à-dire ce niveau qu'il faut rattacher certains Gara (s) de la vallée Djebel Abbad, Gara Krime, Bab el Hattabat, les buttes de Trois pitons sur la route de Touggourt...etc.

Le second glacis, beaucoup plus visible, est à une altitude de 180 m environ, comme le troisième niveau, à 160 m, caractérisé par l'affleurement du substrat gréseux de Mio-Pliocène. Ce dernier est souvent recouvert de sable et de graviers gréseux plus ou moins encrustés de gypse; sa pente est faible. Le glacis de 160 m a été fortement démantelé lors de la formation du dernier glacis, développé à 140m d'altitude environ, et a donné naissance à des formes de relief originales sur lesquelles se sont installées quelques palmeraies de Bamendil. Leur position topographique sur élevée par rapport au niveau de la sebkha les protège de risque de remontée de nappe qui menace actuellement les oasis de bas-fond.

- Les formations quaternaires occupent tous les points bas des grands bassins sédimentaires et forment généralement des zones salées appelées Sebkhass (le centre d'une dépression fermée et salée), ou Chott (zone entourant une Sebkhass, par extension, le mot désigne parfois la sebkha elle-même, par exemple: chott de Ouargla). Se sont de grandes zones d'épandage de matériel alluvial, sableux le plus souvent. Les grands chotts se trouvent dans le Sahara septentrional particulièrement dans le Bas-Sahara, où il s'allonge dans de larges vallées fossiles (Oued Righ, Souf, Mya, Igharghar, ...etc.).

Dans la zone d'étude, le niveau le plus bas du paysage est un très vaste glacis, il constitue le

paysage de chott dans lequel s'encaisse l'immense sebkha de Ouargla en forme de croissant qui entoure la ville et l'oasis d'Ouest, de l'Est et du Nord. sur le chott que sont implantées les principales oasis de Ouargla.

Le Chott est constitué aux deux tiers de sable. En plus des sables anciens, plus ou moins encroûtés, qui forment avec les formations alluviales sub-actuelles l'essentiel des sols du bas-fond, les sables des accumulations éoliennes sont de deux catégories: des sables rouge à grains fins issus probablement des sables rouges mio-pliocènes du plateau qui ont été libérés lors de façonnement des glaciers, des sables clairs plus grossiers et gypseux. Ces derniers sont moins abondants; ils sont issus probablement de l'altération physique des encroûtements gypseux.

La pente Sud/Nord de la vallée est légèrement inférieur à 0,1 %; (150 m d'altitude aux ruines de Sedrata, 136 m à Ouargla, 131 m dans la sebkha de Ouargla. Elle s'accentue légèrement en aval de Ouargla où les sebkhas (Oum Raneb, El Mergueb et Safioune 103 m) alternent avec les massifs dunaires (Et- Touil, Arifdji, Bou-Khezana...etc.).

La limite Est de la cuvette de Ouargla est marquée par un dénivelé d'une trentaine de mètres, plus ou moins net. Après le seuil de Ain Beida (144 m), qu'emprunte la route de Touggourt, l'altitude remonte à 163 m au dessus de Sidi Khouiled, puis la falaise disparaît sous les sables de l'erg Et-Touil. Cette falaise correspond probablement au glacier du niveau 140 m à l'Ouest de la cuvette.

Le sous-sol est formé de sables dunaires reposant sur des alluvions de l'oued avec localement des formations gréseuses indurées.

Dans la région de Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent. Ils sont recouverts par endroits de formations de dépôts datant du Quaternaire composés des ergs et des dunes.

La cuvette est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène; il s'agit des sables rouges et des grès tendres à stratification entrecroisée, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

Après son creusement, la cuvette a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique; craies, calcédoines et évaporites.

Dès oueds, descendants de la dorsale de M'zab à l'Ouest (Oued M'zab, N'sa et Z'gag) ou du Tademaït (Oued Mya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djemel pour Oued M'zab) ou barrant la vallée (Oued N'sa et Z'gag au Nord de sebkhet Safioune).

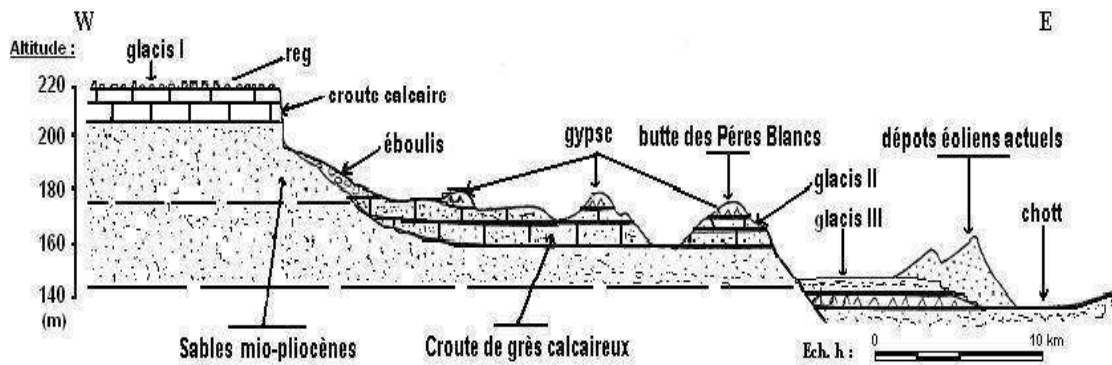


Figure 1-3 : Coupe géomorphologique schématisée de la vallée d'Ouargla
(Lelièvre, 1969)

1-4- Réseaux hydrographiques:

L'hydrographie de la ville de Ouargla se caractérise par son endoréisme (Dubief, 1953). Différents bassins versants (Mya, M'zab, N'sa) forment le réseau hydrographique qui aboutit à sebkhet Safioune au Nord de la cuvette de Ouargla. Le ruissellement est en fait insignifiant.

1-4-1- Oued Mya:

Il draine le versant Nord-Est du plateau de Tademaït. Le bassin de l'Oued Mya est en forme d'une vaste gouttière relevée du Sud (800 m) avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-Est, il s'étend sur 19 800 Km². Le cours fossile de l'Oued Mya inférieur est jalonné par de vastes sebkhas jusqu'à Ouargla, distant de 200 Km environ du point extrême atteint par les dernières crues. Au Nord de Ouargla, la vallée n'est plus discernable. Si l'on admet cependant que l'Oued Mya quaternaire se jetait le chott Melghig actuel, sa longueur devait atteindre 900 Km, (Dubief, 1953).

Avec la fin de la dernière grande période pluviale, le lac s'est retiré. L'Oued Mya n'a pas pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de sebkhet Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

Actuellement, les grandes crues de l'Oued Mya s'arrêtent à 200 km à l'amont de Ouargla.

2-1- Introduction

La zone d'étude (ville de Ouargla) est généralement caractérisée par un climat particulièrement saharien hyper aride à hivers tempérés, et d'une sécheresse permanente où les précipitations sont toujours inférieures au double des températures.

Ces paramètres hydroclimatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

Pour cette étude, les séries des données, qui sont à la base de la détermination de différents paramètres climatiques, ont été enregistrées à la station pluviométrique d'Ouargla (ONM) durant ces 10 années (2007-2018).

2-2- Analyse des paramètres climatiques

2-2-1- La pluviométrie

2-2-1-1- La précipitation moyenne mensuelle :

Les précipitations sont très faibles et très irrégulières, janvier est le mois le plus pluvieux avec 68.90 mm, juillet et aout sont les plus secs avec 3.50mm et 6.50mm.

Tableau 2-1: Précipitation moyenne mensuelle (mm), période 2007-2018

mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
P(mm)	62,60	37,90	27,71	44,10	68,90	36,80	51,90	18,32	20,90	8,10	3,50	6,50	32,27

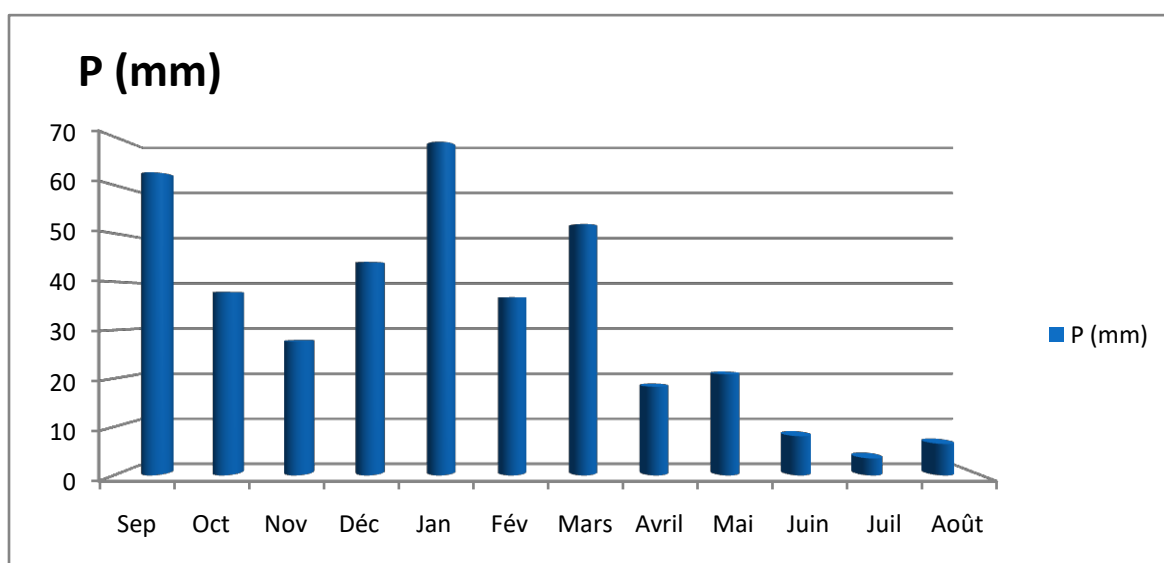


Figure2-1 Précipitation moyenne mensuelle période (2007-2018)

2-2-2- La température

La région de Ouargla est caractérisée par un climat saharien aride, les températures sont très élevées en été, la moyenne des mois les plus chauds (Juillet et Aout) dépasse les 34° et celle du mois le plus froid (Janvier) est inférieure à 12°.

Tableau 2-2: Température moyenne mensuelle (°C), période(2007-2018)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
T (°c)	31,03	25,33	17,31	12,67	12,27	14,00	17,71	23,02	27,71	32,61	36,07	34,91	23,72

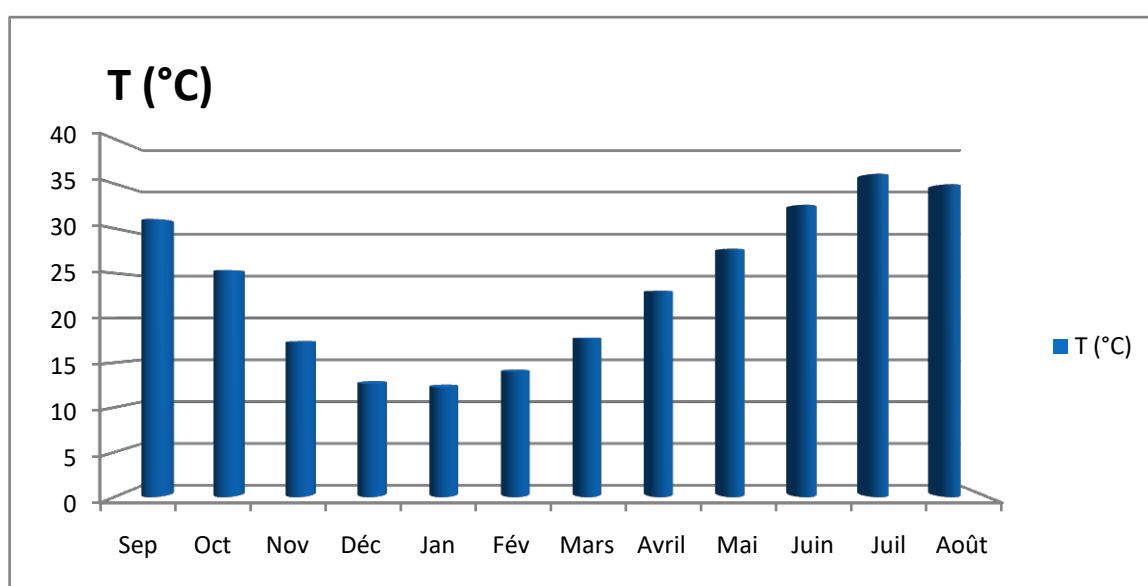


Figure2-2 Température moyenne mensuelle période (2007-2018) .

2-2-3- Humidité de l'air:

L'humidité de l'air est très faible au cours de l'année, le maximum est de 58.39% au mois de Décembre, et le minimum de 23.32% au mois de Juillet

Tableau 2-3: Humidité moyenne mensuelle (%), période 2007 – 2018

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
H (%)	36,06	43,03	52,01	58,39	56,59	48,57	42,45	36,97	31,27	27,67	23,32	27,51	40,32

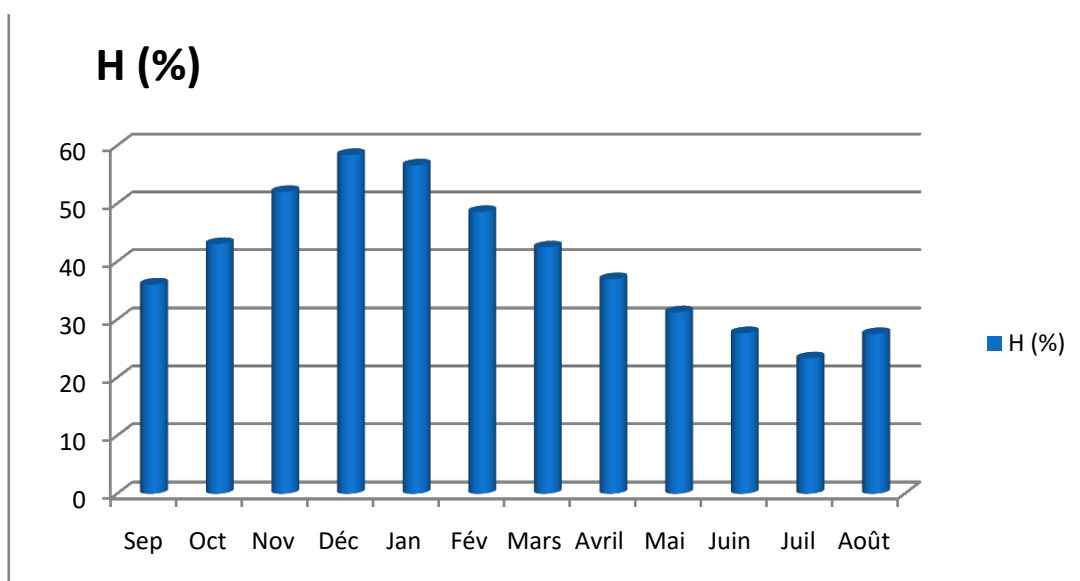


Figure2-3 Humidité moyenne mensuelle période (2007-2018)

2-2-4- Evaporation de l'air :

L'évaporation de l'air est très élevée, elle est au moyenne de 4899.90 mm au mois de juillet et de 1048.50 mm au mois de Décembre, elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines.

Tableau 2-4: Evaporation moyenne mensuelle en mm, période (2007 – 2018)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet.	Aout	Anneé
EVA(mm)	3376,00	2248,70	1489,30	1048,50	1085,40	1507,20	2272,80	2888,60	3767,90	4455,00	4899,90	4720,20	2813,29

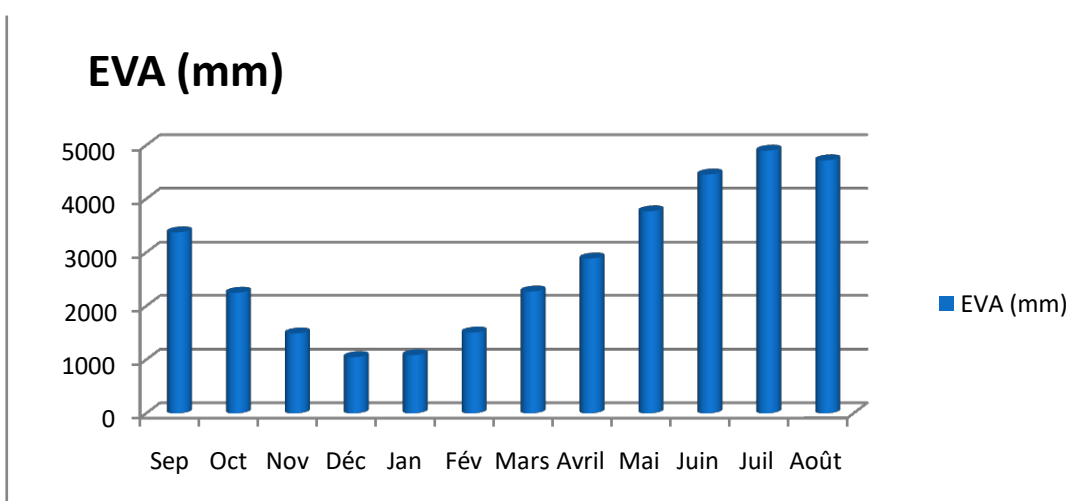


Figure2-4 Evaporation moyenne mensuelle période (2007-2018)

2-2-5- Les vitesses de vent :

Le maximum de la vitesse des vents est enregistrée au mois de mai avec une vitesse moyenne de 14.75 m/s, le minimum est au mois de décembre avec 7.39 m/s.

Tableau 2-5: vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s), période 2007 – 2018

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Anneé
V(m/S)	9,60	9,54	7,53	7,39	8,18	9,50	10,36	11,46	14,75	10,39	8,85	9,29	9,74

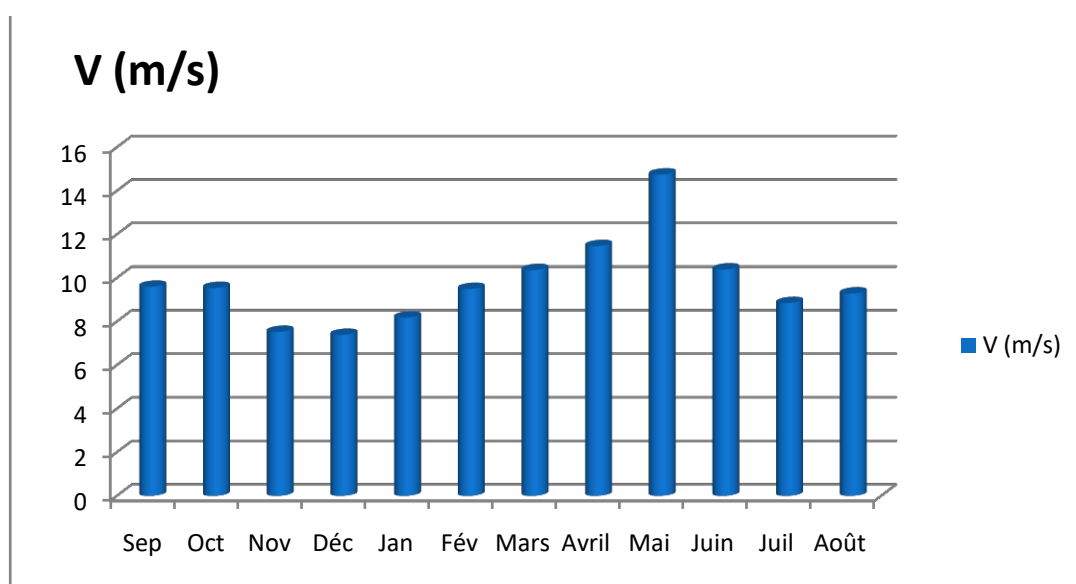


Figure 2-5 Vitesse moyenne mensuelle des vents période (2007-2018)

2-2-6- Nombre d'heure diurne

La vallée de ouargla reçoit une quantité de lumière solaire très forte, le maximum atteint le mois de aout avec une durée moyenne de 4039.20 heures, et le minimum est enregistré au mois de janvier avec une durée moyenne de 2750.00 heures.

Tableau2-6: Nombre moyenne mensuelle d'heure diurne en heures, période (2007-2018)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Anneé
INS(h)	3192,30	2911,40	3018,10	2793,70	2750,00	2840,50	3218,40	3352,40	3630,80	2855,10	3482,30	4039,20	3173,68

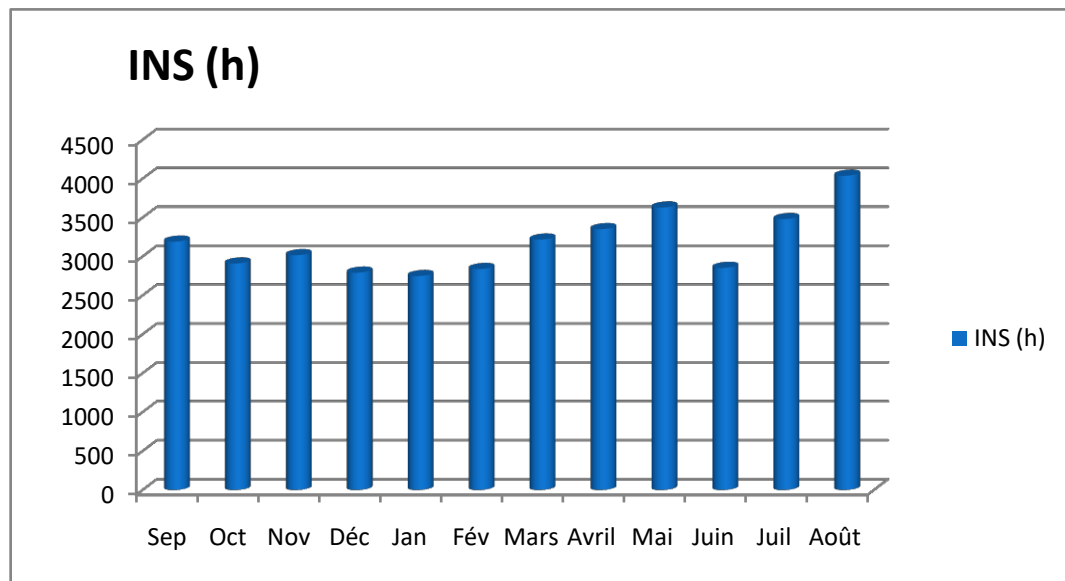


Figure2-6 Nombre moyenne mensuelle de d'heure diurne période (2007-2018)

2-3 Conclusion:

Le climat de la région de ouargla est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et les températures trop élevées d'autre part. Cette aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la ville de ouargla.

3-1- Introduction

Les nappes phréatiques sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les zones de dépressions ou les vallées, elles sont alimentées par les pluies, les crues, les eaux de drainage et aussi très souvent par les remontées naturelles (sources) en provenance des aquifères plus profondes ou encore par les fuites dans les ouvrages exploitants ces dernières.

Ces ressources superficielles sont importantes dans tout le Sahara, elles permettent d'irriguer les petites palmeraies, les jardins légumiers et d'abreuver les troupeaux et leurs propriétaires.

Le recours aux eaux souterraines plus profondes par la multiplication des forages d'exploitation captant les aquifères du CI et du CT destinés aux besoins d'irrigation et d'alimentation en eau potable a accéléré la remontée des niveaux hydrostatiques de nappes phréatiques. Cette situation d'excès d'eau a perturbé l'écosystème oasien et a engendré des problèmes environnementaux nuisibles notamment pour l'agriculture (salinité des sols, dégradation des palmeraies par asphyxie, inondation des ghouts,...).

3-2- Continental Intercalaire (CI)

Dans la région d'étude, l'aquifère du Continental Intercalaire se présente sous forme d'une nappe artésienne. Elle constitue la plus grande réserve d'eau souterraine dans le Sahara algérien.

Cette nappe est surmontée par celle du Complexe Terminal qui se présente sous forme d'une nappe libre.

On définit l'aquifère du Continental Intercalaire comme étant les formations continentales du crétacé inférieur, comprises entre l'Albien et le Néocomien, et qui sont constituées de sables, de grès avec intercalations d'argiles, dont la profondeur doit varier de 700 à 1200 m environ.

Le Continental Intercalaire est surmonté par les dépôts du crétacé supérieur à savoir, le Cénomaniens, le Turonien et le Sénonien salifère qui peut atteindre une épaisseur de l'ordre de 220 m. Le réservoir aquifère du Continental Intercalaire est particulier par son volume considérable du, à la fois, à son extension sur plus de 600.000 km² et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. De grandes quantités d'eau y ont été stockées pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire.

3-3- Complexe terminal (CT) :

Cette nappe a été désignée sous le nom du "Complexe Terminal", car elle est contenue dans

les divers horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire, essentiellement: le Sénonien supérieur carbonaté, l'Eocène inférieur carbonaté, le Mio-Pliocène sableux. Ces couches aquifères sont plus ou moins en étroite relation, ont été groupées en un seul réservoir qui intègre également les formations carbonatées du Turonien dans les zones de bordures.

Dans le bassin occidental, la nappe du complexe terminal étant en liaison directe sous une grande partie de l'Erg avec celle du Continental Intercalaire. Par contre, dans le bassin oriental, les deux systèmes aquifères sont nettement distincts.

La nappe du Complexe Terminal s'étend sur une superficie de l'ordre de 350.000km².

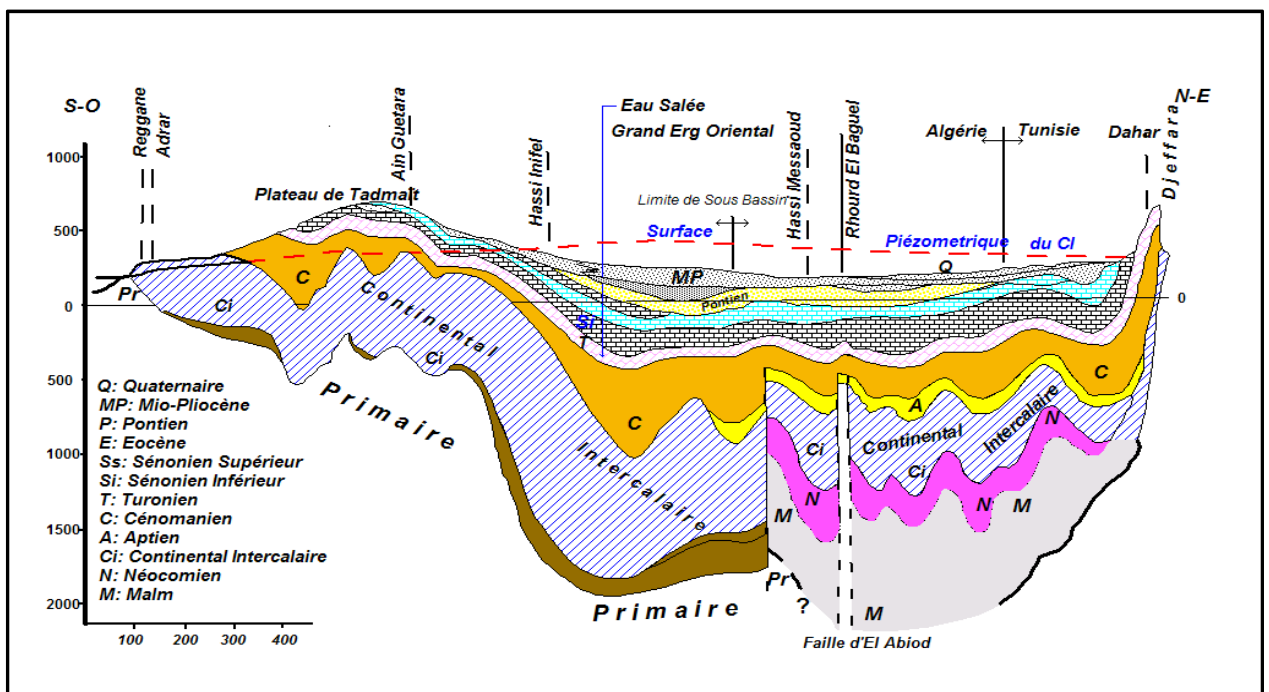


Figure 3-1: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO 1972)

3-4-Les aquifères utiles dans la région de Ouargla:

Trois aquifères utiles existent dans le sous-sol de la région de ouargla, de bas en haut nous avons:

- Les grès et les argiles sableuses du CI, c'est la nappe dite "Albienne".
- Les calcaires de la nappe du *Sénono-Eocène carbonatés*.
- L'ensemble détritique (sables et argiles) des formations continentales de la nappe du *Mio-Pliocène*.

Chronostratigraphie	Unités hydrogéologiques		Prof	Lithostratigraphie	Lithologie
Quaternaire	Nappe phréatique		20m		
Tertiaire	Nappe du Complexe Terminal	Nappe des sables	120m	Mio-Pliocène	
		Impermeable		Eocène évaporitique	
		Nappe des calcaires (Sénono-Eocène)	520m	Eocène carbonaté	
		Impermeable	700m	Sénonien carbonaté	
		Nappe du turonien	Turonien		
Secondaire	Crétacé	Impermeable	1000m	Cénomanién	
		Nappe du Continental Intercalaire	Nappe de l'Albien	Albien	
				Aptien	
			2000m	Barrémien	

Figure 3-2 : Colonne stratigraphique des différents aquifères (ANRH 2004)

3-5- La nappe superficielle

3-5-1- Généralités sur la Nappe phréatique de la région de ouargla

Au niveau de la cuvette de ouargla la nappe superficielle n'est pas exploitée à cause du taux de sels que contiennent ses eaux. Elle est épaisse de 1 à 8 m et repose sur un niveau imperméable étanche, qui occupe tout le fond de la vallée de ouargla et l'isole des nappes artésiennes sous jacentes.

Les zones dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde sont situées à des points hauts de la topographie (Sud- ouest de ouargla, Sud de Oum Raneb) . La nappe est moins profonde dans les zones à proximité des palmeraies irriguées (Ouargla).

La forte salinité est due essentiellement au lessivage des formations gypseuses et argileuses par les eaux de la nappe, tandis que la faible minéralisation est due à la dilution par les eaux d'irrigation provenant des nappes sous jacentes et à l'absence de niveaux gypseux dans la formation sableuse qui caractérise la nappe phréatique.

3-5-2- Faciès Lithologique

La nappe phréatique est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuse du Quaternaire. Les sondages carottés effectués par Laboratoire des travaux publics du sud (LTPS), en plus des logs des piézomètres effectués par l'ENAGEO, ont permis de relever la présence de trois classes de profil géologiques.

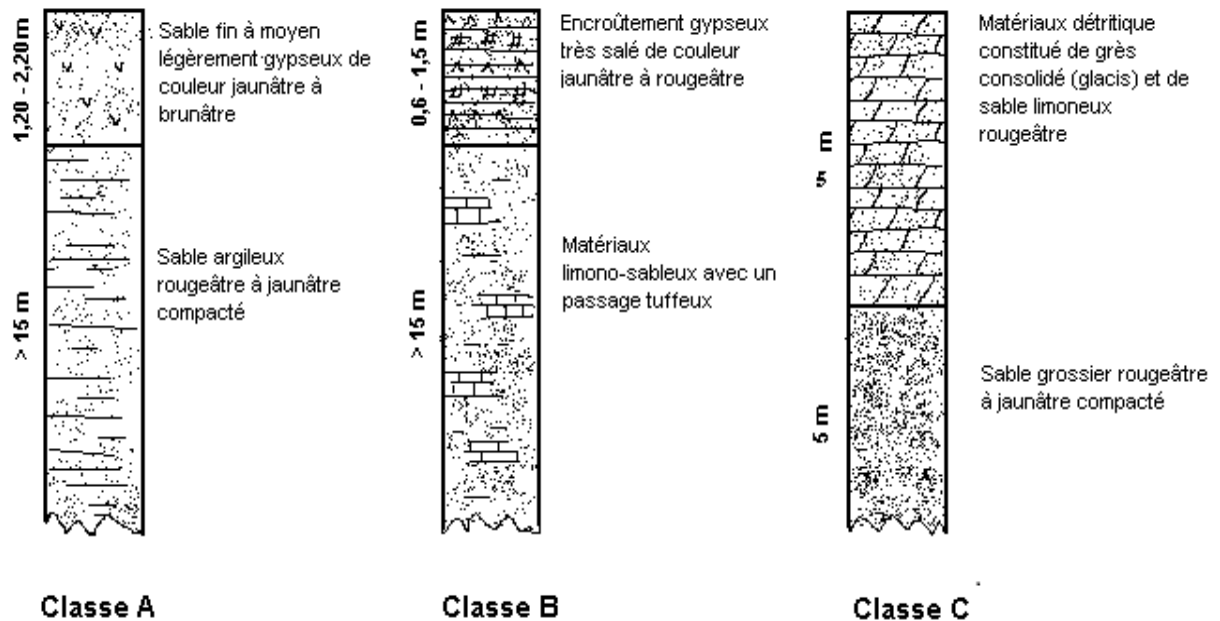


Figure 3-3 : Log géologiques des formations de la nappe phréatique (ENAGEO1992)

Classe A :

C'est la classe la plus répandue, elle représente environ de 75 % des terrains. On distingue:

- Une première couche dont l'épaisseur varie de 1.20 à 2.20 m constituée de sable fin à moyen légèrement gypseux de couleur jaunâtre à brunâtre avec une consistance de moyenne compacité.
- Une deuxième couche constituée de sable argileux rougeâtre à jaunâtre compactée, dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m.

Classe B :

Elle caractérise les chotts et les sebkhas. On distingue:

- Un encroûtement gypseux très salé de couleur jaunâtre à rougeâtre dont l'épaisseur varie de 0.6 m à 1.5 m.

- Matériaux limono-sableux avec un passage tuffeux.

Classe C : Elle caractérise les versants de la cuvette et le plateau Mio-Pliocène. On distingue:

- Matériau détritique constitué de sable rouge consolidé (glacis), et de sable limoneux rougeâtre pauvre en gypse dont l'épaisseur est supérieure à 10 m.
- Sable grossier rougeâtre à jaunâtre consolidé avec la profondeur.
- Plateau discontinue d'épaisseur 0.8 – 1.0 m discontinue (Plateau calcaireux, encroûtement gypseux très dure).

3-5-3- Etude piézométrique de la nappe phréatique :

3-5-3-1- La carte piézométrique :

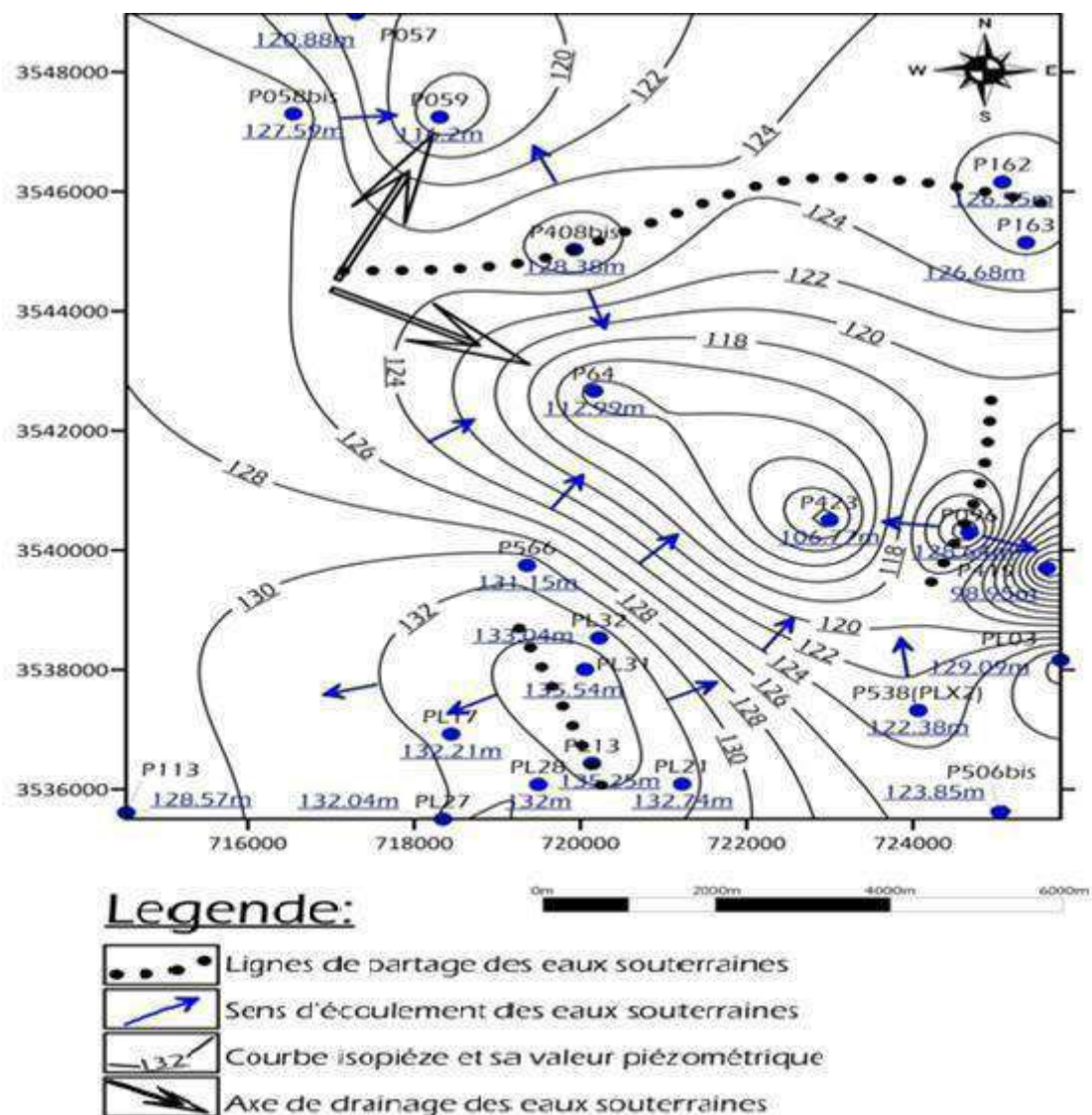


Figure 3-4 : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la ville de Ouargla en 2012.

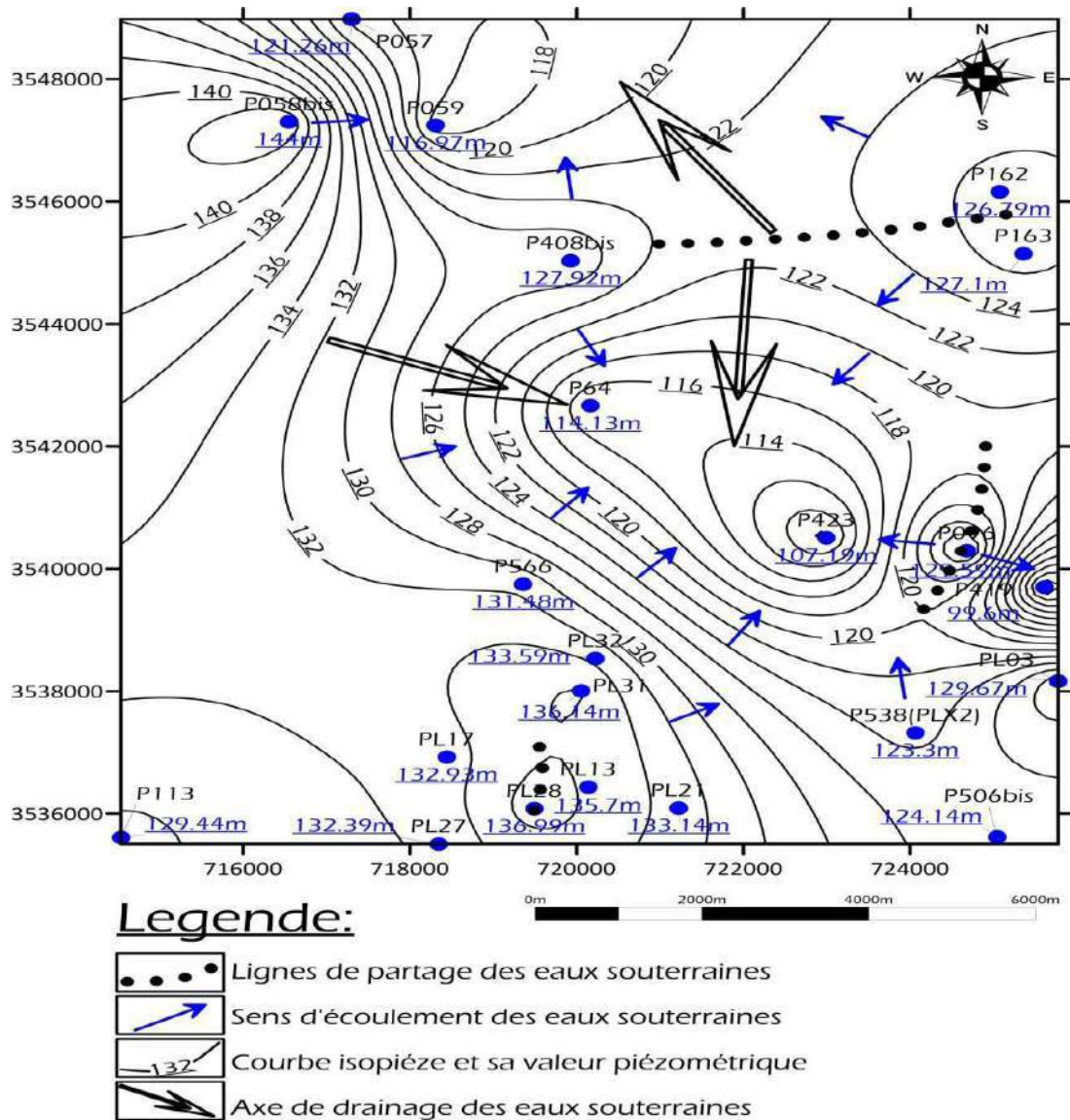


Figure 3-5 : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la ville de ouargla en 2017.

3-5-3-2- Interprétation de la carte piézométrique

La morphologie de la carte piézométrique d'une nappe permet d'étudier les caractéristiques d'écoulement des eaux souterraines, grâce à ceux, on peut déterminer les zones d'alimentations, les zones d'appels et le trajet ou les eaux se drainées.

Dans cette nappe on peut dire que le niveau piézométrique est réglé par un équilibre entre les entrées et les sorties .

➤ Les entrées : sont principalement des zones d'alimentations ou elles sont représentées sur la carte sous forme des lignes de partage des eaux souterraines, elles se trouvent :

-sous la ville de ouargla au sud de la carte (PL 31 : 2012-135.54m & 2017-136.14m) (PL13 : 2012-135.25m & 2017-135.7m), la remontée de ce niveau dans ce point traduit par la forte exploitation des nappes profondes et de la faible évaporation (agglomération)

-Chott, au nord de la carte (P096 : 2012- 128.64m & 2017-129.59m) ce remonte grâce eaux d'irrigation (oasis)

Au nord de la carte il existe aussi une zone d'alimentation (P162 : 2012- 126.55m & 2017-126.79m) sebkha OmeRaneb et(P408bis : 2012- 128.38m & 2017-127.92m) ou il y a des oasis (les eaux provenant des nappes artésiennes profondes)

➤ Les sorties : sont essentiellement dues a l'évapotranspiration de la végétation, a l'évaporation des eaux de la nappes remontant par capillarité.

-Au centre de la carte il existe une grande dépression (P423 : 2012- 106.77m & 2017-107.19m) avec une pente fortes qui traduit par un canal de drainage ou les eaux sont drainées vers sebkha OmeRaneb cette descende a cause d'évapotranspiration des végétations, d'évaporation des eaux remontant a la surface.

-On peut traduire la dernière dépression qui se situe au nord de la carte (P059 : 2012- 116.2m & 2017-116.97m) avec une pente plus ou moins faible par un exploitation pour l'irrigation .

Sur la période Entre 2012 et 2017. L'observation des variations au niveau piézométriques montre une remontée générale de niveau statique.

3-5-4- Caractéristiques Hydrodynamique de la Nappe

Aucune étude hydrodynamique n'a jamais été faite concernant la nappe phréatique, mise à part les essais géotechniques du laboratoire des travaux publics de sud (LTPS) sur des localités dans la zone, ou bien les interprétations des données piézométriques effectuées par l'ANRH.

3-5-4-1- Granulométrie

Le LTPS a effectué des analyses sur des échantillons représentatifs (profondeur de 0 à 3 m). L'examen des courbes granulométriques montre d'une manière générale qu'il s'agit des sables fins à moyens avec un pourcentage d'éléments argileux et limoneux qui varie de 7 à 12 %.

3-5-4-2- Porosité

La porosité totale d'un échantillon est égale au rapport, exprimé en pour cent du volume de vides au volume total : $n = V_v / V_t$. Des mesures de la porosité ont été effectuées sur des échantillons prélevés sur des profils du sol représentatif . Les valeurs de la porosité déterminées varient entre 10 et 30 %.

3-5-4-3- Perméabilité et Transmissivité

La perméabilité dépend à priori du milieu solide-fluide (porosité, granularité, salinité) et également des conditions hydrogéologiques de chaque zone (zone de recharge, zone centrale, exutoire). Le coefficient de perméabilité moyen de la nappe phréatique varie entre 1.27×10^{-1} m/s et 5.6×10^{-3} m/s. Tandis que, la transmissivité varie entre $2 \text{ m}^2/\text{s}$ et $9 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

3-5-4-4- Coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement (S) est le volume d'eau exprimé en pour cent, que l'on peut retirer par gravité d'un prisme vertical de terrain saturé de section unité. Les valeurs de S varient entre 10^{-2} et 2×10^{-1}

3-5-5- Essais de pompage :

3-5-5-1- Introduction :

Un essai de pompage sert à rechercher des paramètres du système de l'aquifère, c'est-à-dire, faire un essai de nappe pour tirer des informations hydrogéologiques tels que le coefficient d'emmagasinement(S), la transmissivité (T) et la conductivité hydraulique (K). Les données être sûres, précises et utilisables (Genetier, 1984).

3-5-5-2- Résultats et interprétations :

Des essais de pompage à débit constant ont été réalisés, en collaboration de l'ONA-Ouargla avec le bureau d'étude Suisse « BG » en 2003, sur trois puits dans la nappe phréatique.

Ces essais sont répartis dans la ville de Ouargla. Ces essais ont été effectués avec un équipement spécialement préparé à cet effet comprenant une pompe à moteur thermique, un tuyau d'exhaure, Un tuyau de refoulement et deux fûts pour le jaugeage des débits.

Tableau 3-1 : Résultats des essais de pompage(ONA-BG, 2003)

N°	Situation	X (UTM WGS 84)	Y (UTM WGS 84)	T (m/s)	S (%)
P408	Bour El Haïcha	719954	3545181	$5,85 \cdot 10^{-4}$	
P428	Ville d'Ouargla	719474	3538552	$1,46 \cdot 10^{-4}$	11
P434	Ville d'Ouargla	719624	3537984	$2,63 \cdot 10^{-4}$	

A partir de résultats obtenus (tableau 3-1), on constate que les valeurs de transmissivité présentent une homogénéité pour chaque essai. Elles sont semblables, que ce soit en pompage ou après l'arrêt de celui-ci (à la remontée), tant pour les mesures effectuées dans le puits de pompage que dans les piézomètres.

On peut tout de même grouper les transmissivités en deux classes :

- D'une part des transmissivités élevées, proche de 10^{-2} m²/s, représentées par deux sites.
- D'autre part des transmissivités faibles, dont la moyenne est proche de $3 \cdot 10^{-4}$ m²/s, représentées par les six autres sites d'essais.

Dans la ville de Ouargla, des transmissivités de $1,4 \cdot 10^{-4}$ (P428), et $2,63 \cdot 10^{-4}$ m²/s (P434) ont été déterminées. Ces deux puits servent à l'irrigation. Au Nord de Ouargla, une transmissivité de $5,85 \cdot 10^{-4}$ m²/s a été mesurée à Bour El Haïcha sur un puits creusé dans les formations sablo-graveleuses du Mio-Pliocène du flanc occidental de la vallée.

3-5-6- Bilan hydrique de la nappe superficielle:

Le niveau de la nappe phréatique est réglé par la balance entre le débit des eaux entrant dans la région et celui des eaux en sortant. Un surplus aux entrées (ou un déficit aux sorties, ce qui revient au même) se traduit par une augmentation de la quantité d'eau stockée, d'où une élévation du niveau de la nappe phréatique, alors qu'un déficit aux entrées (ou un surplus aux sorties, par évaporation ou par écoulement, par exemple) se traduit par un prélèvement sur l'eau stockée dans la nappe, d'où une baisse du niveau de celle-ci.

3-5-6-1- Equation du bilan d'eau:

L'équation des termes du bilan correspond aux entrées dans la nappe phréatique moins les sorties

$$\Delta Q = \text{entrées} - \text{sorties}$$

3-5-6-1-1- Entrées:

Les entrées d'eau dans la nappe phréatique responsables de la remontée du niveau piézométrique de cette nappe sont :

- les eaux provenant du CT et CI par artésianisme et par pompage. Deux types d'utilisation seront différenciés : usage agricole (Irr) et AEP : Q_{F-Irr} et Q_{F-Aep}

- les eaux de pluies rejoignant effectivement la nappe phréatique par infiltration : $Q_{Pré}^{Inf}$

Soit pour les entrées :

$$\text{Entrées} = Q_{F-Irr} + Q_{F-Aep} + Q_{Pré}^{Inf}$$

3-5-6-1-2- Sorties:

Les eaux sortant de la zone d'Ouargla sont responsables de la descente du niveau piézométrique de cette nappe. Il s'agit de :

- la décharge naturelle vers le sud et le nord, par écoulement souterrain : Q_P^{Ec}
- les cultures et la végétation urbaine : Q_{P-Ab}^{Etr}
- les eaux évaporées par les surfaces d'eau libres et les zones humides : Q_{P-Sb}^{Ev}
- les eaux évapotranspirées par les activités humaines : Q_{Hum}^{Ev}
- les eaux évacuées vers Oum Raneb : Q_{-dr}^{dr}

Soit pour les sorties :

$$\text{Sorties} = Q_P^{Ec} + Q_{P-Ab}^{Etr} + Q_{P-Sb}^{Ev} + Q_{Hum}^{Ev} + Q_{-dr}^{dr}$$

Ce qui donne l'équation suivante pour le bilan d'eau de la nappe phréatique

$$\Delta Q = \text{entrées-sorties} = (Q_{F-Irr} + Q_{F-Aep} + Q_{Pré}^{Inf}) - (Q_P^{Ec} + Q_{P-Ab}^{Etr} + Q_{P-Sb}^{Ev} + Q_{Hum}^{Ev} + Q_{-dr}^{dr})$$

3-5-6-2- Estimation des termes du bilan d'eau

$$\text{Entrées} = Q_{F-Irr} + Q_{F-Aep} + Q_{Pré}^{Inf}$$

- $Q_{Pré}^{Inf}$: Quantité d'eau tombée multipliée par un coefficient d'infiltration pour l'eau de pluie.

- 43 mm par an (moyenne de 10 ans)
- Coefficient d'infiltration 6 %
- Surface de la zone d'Ouargla : 10'327,5 ha

$$0,043 \text{ m} \times 103'275'000 \text{ m}^2 \times 0,06 / 365 \text{ j} = 730 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Q_{F-Aep} : Débits forages destinés à l'AEP :
Selon les données et la campagne de mesures de débits : 49'309 m³/j
- Q_{F-Irr} : Débits forages destinés à l'irrigation des palmeraies :

Selon les données de mesure des débits ANRH et la campagne de mesure des débits : $102'810 \text{ m}^3/\text{j}$

$$\bullet \text{ Sorties} = Q_{PEc} + Q_{P-AbEtr} + Q_{P-SbEv} + Q_{HumEv} + Q_{drd}$$

➤ Q_P^{Ec} : écoulement souterrain vers le sud et le nord dû à une anomalie piézométrique (dôme) au niveau de la ville d'Ouargla.

$$Q = T \times L \times i$$

Avec :

$$T = \text{Transmissivité} = 2,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s},$$

$$i : \text{Pente} = 2\text{‰},$$

$$L = 12 \text{ km}$$

Soit un débit de $539 \text{ m}^3/\text{j}$

➤ Q_{P-Sb}^{Ev} : les eaux évaporées par les surfaces d'eau libre et les zones humides.

Superficie des surfaces d'eau libre, déterminée à partir de l'interprétation de l'image satellitaire : 243 ha.

➤ Q_{P-Sb}^{Ev} : les eaux évaporées par les surfaces d'eau libres et les zones humides.

$$2'430'000 \text{ m}^2 \times 1,93 \text{ m} / 365 \text{ j} + 20'230'000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} / 365 \text{ j} = 12'849 + 8'314 = 21'163 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ Q_{P-Ab}^{Etr} : les cultures et la végétation urbaine

Evapotranspiration et une couverture de 30% de chiendent est estimée, pour la zone de ouargla à $15'000 \text{ m}^3/\text{année}/\text{ha}$.

La superficie urbaine recouverte de végétation varie d'un quartier à l'autre. La moyenne est de 7 %

Superficie des palmeraies, déterminée à partir de l'interprétation de l'image satellitaire : 2286 ha

Superficie des zones urbanisées, déterminée à partir de l'interprétation de l'image satellitaire : 2354 ha

$$15'000 \text{ m}^3/\text{année}/\text{ha} \times (2286 \text{ ha} + 0,07 \times 2354 \text{ ha}) / 365 = 100'717 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ Q_{Hum}^{Ev} : les eaux évapo-transpirées par les activités humaines sont estimées à 22 l/jour/habitant

La population en est estimée à 180'000 habitants

$$180000 \text{ habitants} \times 22 \text{ l/jour/habitant} = 3960 \text{ m}^3/\text{j}$$

- $Q_{\text{dr}}^{\text{dr}}$: les eaux évacuées vers Oum Raneb à travers la station de pompage ont été mesurées par des loggers placés sur les 4 pompes de la station.
- une moyenne de 26'470 m³/j a été évacuée

3-5-6-3- Résumé du bilan d'eau

Tableau 3-2 : bilan d'eau de la ville de ouargla(ONA 2003)

	Entrées m ³ /j	Sorties m ³ /j
Précipitations	730	
Forage AEP	49309	
Agriculture	102810	
EVT humain		3960
EVT palmeraie		93945
EVT végétation ville		6772
Eau libre		12849
Sebkha		8314
Vers OmeRaneb		26470
Ecoulement		539
Totaux	152849	152849

3-5-7- Problème de remontée des eaux

La nappe phréatique a connu une remontée du niveau d'eau ayant provoqué de graves problèmes écologiques dans les zones urbaines et agricoles. Ce phénomène a engendré des affaissements de terrain et la création d'un milieu anaérobie néfaste pour les cultures et le palmier.

Parmi les causes principales de la remontée des eaux de la nappe phréatique dans la zone de Ouargla est :

- d'ordre morphologique, une topographie très plane conjuguée à un manque d'exutoire naturel.
- Transfert des eaux des nappes profondes vers les nappes phréatiques

L'utilisation des nappes profondes (CI et CT) pour l'alimentation en eau potable et l'agriculture contribue fortement à la remontée des eaux des nappes superficielles.

Ce transfert est facilité par la communication inter nappes, due à la vétusté des équipements des forages.

-La mauvaise gestion des réseaux d'eaux potable .

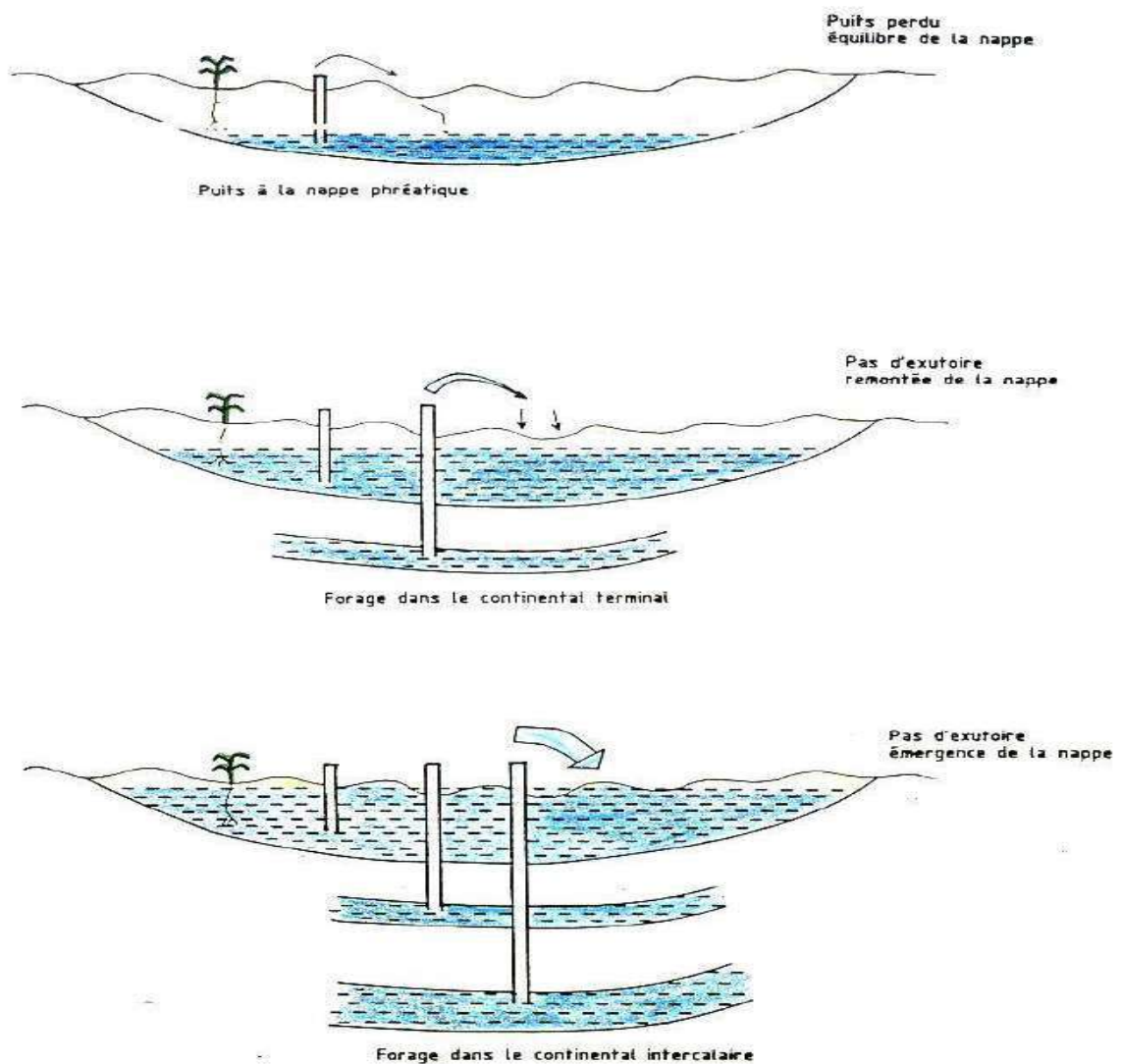


Figure 3-6 : L'évolution de la remontée des eaux de la nappe phréatique au cours du temps

3-5-8- Conclusion

Les nappes phréatiques sont des ressources aléatoires et généralement de mauvaise qualité, elles sont alimentées par les eaux pluviales, de crues et les eaux d'irrigation des forages profonds. La facilité d'exploitation et l'accroissement des prélèvements des nappes sous jacentes dans plusieurs régions du Sahara a excessivement réalimenté les nappes libres, ce déséquilibre a provoqué

Ce phénomène s'est accentué surtout par le manque d'exutoires des eaux urbaines et de drainage des périmètres irrigués et l'évacuation des eaux au niveau de Ouargla se fait par pompage quotidien vers un lieu de rejet plus loin.

Pour les autres zones du Sahara septentrional qui ne connaissent pas ce problème de remontée, il serait judicieux que les fluctuations du niveau des nappes phréatiques et les variations chimiques des eaux, doivent être suivies périodiquement par des programmes d'observations de la qualité et des mesures piézométriques.

4-1- Introduction:

La géochimie des eaux souterraines a une importance considérable en hydrogéologie, particulièrement dans les régions sahariennes.

Il ne suffit pas de trouver l'eau. Encore faut-il que cette eau soit utilisable. Or, dans les régions sahariennes, les eaux souterraines sont fréquemment salées. Différent dans ce cas le facteur de contrôle n'est plus alors la quantité, mais la qualité.

Il importe donc de connaître les lois de la géochimie des eaux souterraines, permettant bien comprendre la composition chimique et les causes de la salure des eaux.

De plus, cette géochimie donne de précieux renseignements sur les conditions de gisement et le mouvement des eaux souterraines.

Certes la composition chimique des eaux a fait l'objet de plusieurs études.

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des résultats de travaux concernant les principales caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique à l'échelle locale (la ville de ouargla).

4-2- Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ)

Pour évaluer l'état chimique des eaux souterraines et superficielles de la zone d'étude, nous avons utilisé des paramètres faciles à mesurer et qui s'avère d'une grande utilité.

4-2-1- Température de l'eau (°C) :

Le paramètre 'température ' a été mesuré sur l'ensemble de points de prélèvements, dans la période d'observation.

Ces variations changent en fonction de la température de l'air, des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Elles jouent un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux.

la température varie entre 17°C et 18°C pour les eaux de la nappe phréatique.

4-2-2- Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau en mesurant la concentration des ions H^+ , il varie selon une échelle de 0 à 14, alors que 7 est le pH de neutralité.

Le pH des eaux de la nappe phréatique reste homogène et proche à la neutralité à légèrement alcalin, il est souvent inférieur à 8,3.

Le PH varie entre 7,35 et 6,5.

5-2-3- PH d'équilibre :

Ce paramètre va traduire le caractère agressif ou incrustant d'une eau, en le comparant au PH mesuré.

PH d'équilibre < PH mesuré → agressive

PH d'équilibre > PH mesuré → incrustant

PH d'équilibre = PH mesuré → neutre

4-2-4- La conductivité électrique:

La conductivité électrique donne une idée sur la minéralisation totale d'une eau (sels minéraux). Elle se mesure à une température des eaux de 20°C, elle augmente avec la température et s'exprime en $\mu\text{s/cm}$.

4-2-5- Dureté et alcalinité des eaux:

La dureté correspond à la présence des ions alcalino-terreux: Calcium et Magnésium dans l'eau, en fonction de cette dureté, on définit le Titre Hydrotimétrique (TH), avec:

$$\text{TH (}^\circ\text{F)} = ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) \times 5 ; [\text{Ca}^{2+}] \text{ et } [\text{Mg}^{2+}] \text{ en meq/l}$$

$$\Delta\text{HT(}^\circ\text{F)} = (r\text{Ca}^{+2} + r\text{Mg}^{+2})\text{meq/l}$$

$$\Delta\text{HT(}^\circ\text{F)} = (r\text{Ca}^{+2} + r\text{Mg}^{+2}) \times 5 \text{ }^\circ\text{F}$$

Tableau 4-1: Classification d'une eau selon sa dureté

Spécificité de l'eau	TH (°F)
Eau très douce	0 à 6
Eau douce	6 à 15
Eau moyennement dure	15 à 30
Eau très dure	30 et plus

Ce tableau ci-dessus présente la qualité chimique des eaux en fonction de la dureté.

Les valeurs calculées précédemment varient entre (122°F et > (592°F) > 30°F, donc ces eaux sont très dures.

4-3-La carte de la minéralisation des eaux de la nappe superficielle

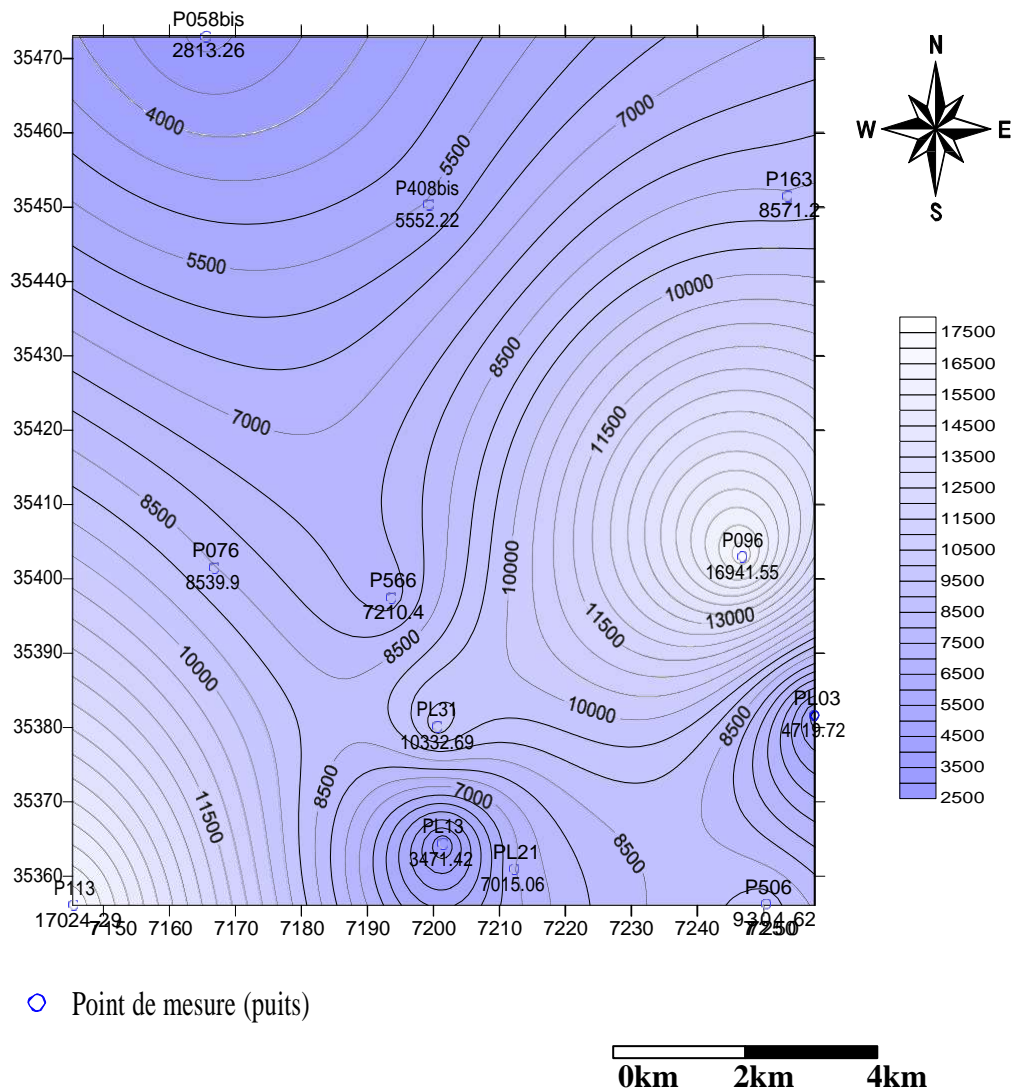


Figure 4-1 : carte de la minéralisation des eaux de la nappe superficielle de ouargla en 2012

La carte de minéralisation montre un forte minéralisation dans la partie Est avec une valeur élevée 16941,55 mg/l (P096) et qui diminue vers le nord-ouest avec une valeur minimale 2813.26 mg/l (P058bis)

La forte minéralisation peut être due a la fort concentration SO_4 puisque les deux carte en les même évolution.

4-4-La carte de la conductivité des eaux de la nappe superficielle

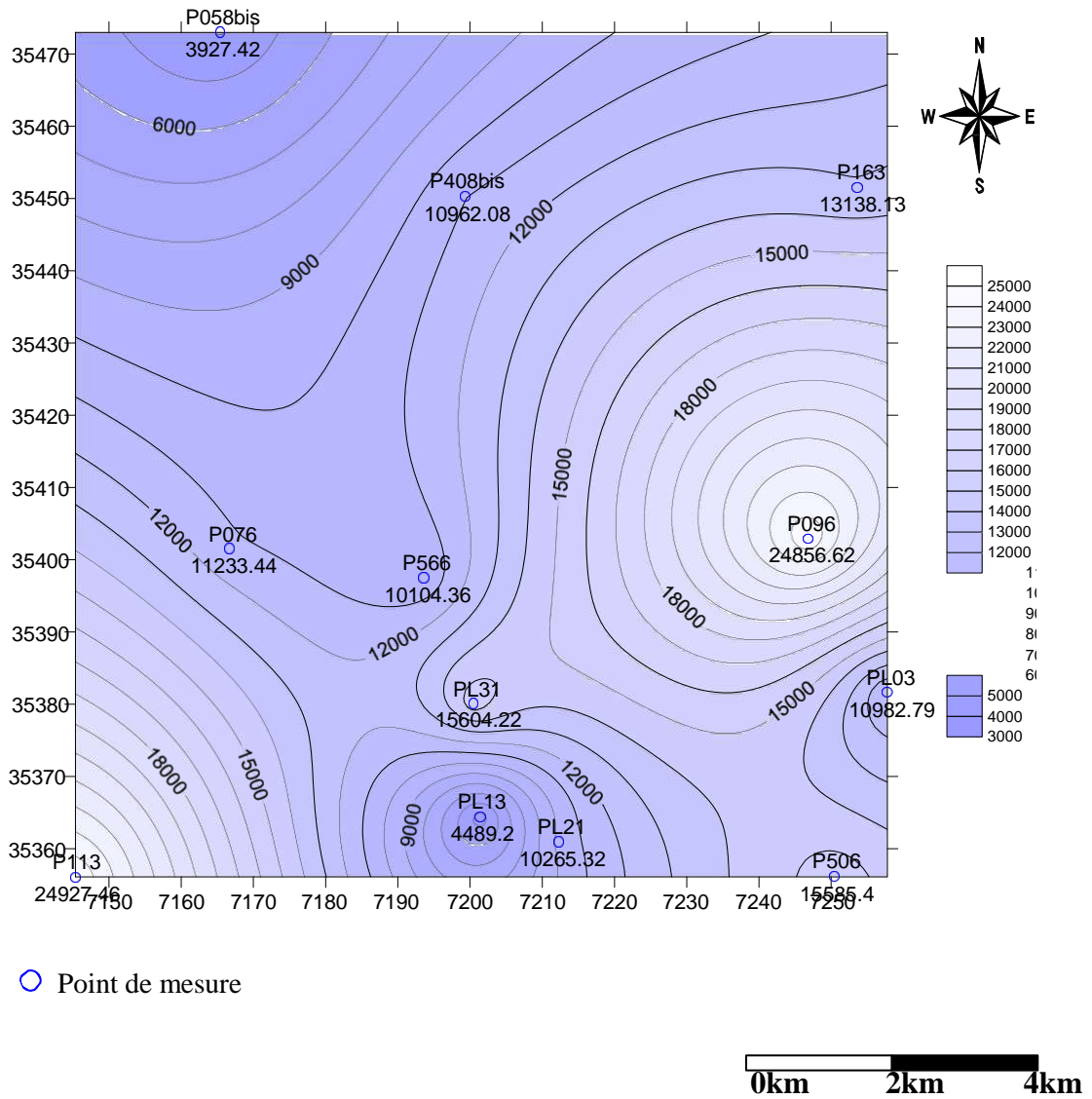


Figure 4-2 : carte de la conductivité ne $\mu\text{S}/\text{cm}$ de la nappe superficielle de ouargla 2012

La carte de la conductivité montre les valeurs élevée dans la partie Est qui peut être atteint la valeur 24856,62 mg /l et va diminué vers le Nord –Oust et au sud.

La conductivité et on relation proportionnelle avec la minéralisation.

4-5-La relation entre la minéralisation et la conductivité :

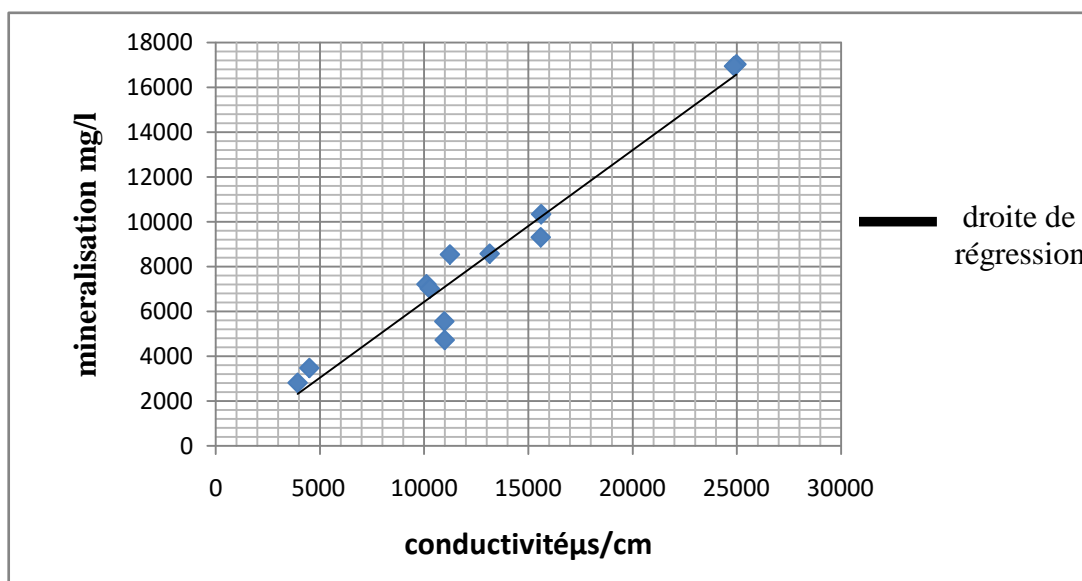


Figure 4-3 : la relation entre la minéralisation et la conductivité des eaux de la nappe superficielle dans la ville de ouargla en 2012

La courbe ci-dessus correspond à la corrélation entre la minéralisation et la conductivité de la nappe phréatique dans la ville de ouargla, la minéralisation et la conductivité caractérisées par une bonne corrélation qui se manifeste par un coefficient de corrélation élevé ($R=0.86$).

On remarque que lorsque la minéralisation de la nappe phréatique augmente, la conductivité augmente et lorsque la minéralisation de la nappe diminue, la conductivité diminue.

4-7- Faciès chimiques des eaux

Pour définir l'évolution spatio-temporelle des faciès chimiques présents dans les eaux de ouargla, nous avons illustré les résultats des analyses par des graphiques.

4-7-1- Classification de SCHOELLER-BERKALOFF :

C'est un diagramme semi logarithmique. Schoeller-Berkaloff est utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques des eaux, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux, ainsi que la détermination de **PH** d'équilibre et la teneur en gaz carbonique **CO₂** en (mg/l).

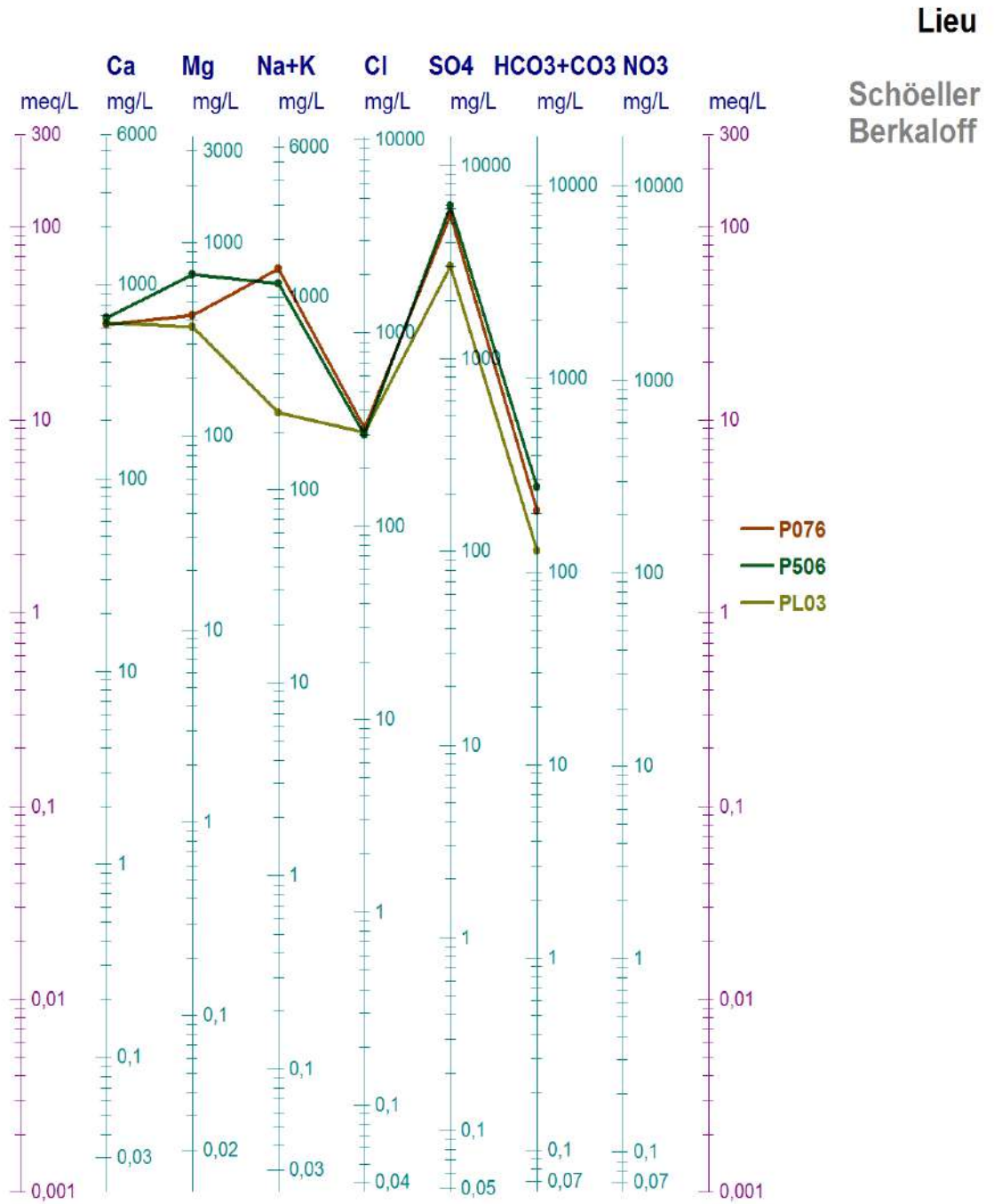


Figure 4-4-a : représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe superficielle dans la ville de ouargla sur le diagramme de Schoeler-Berkaloff

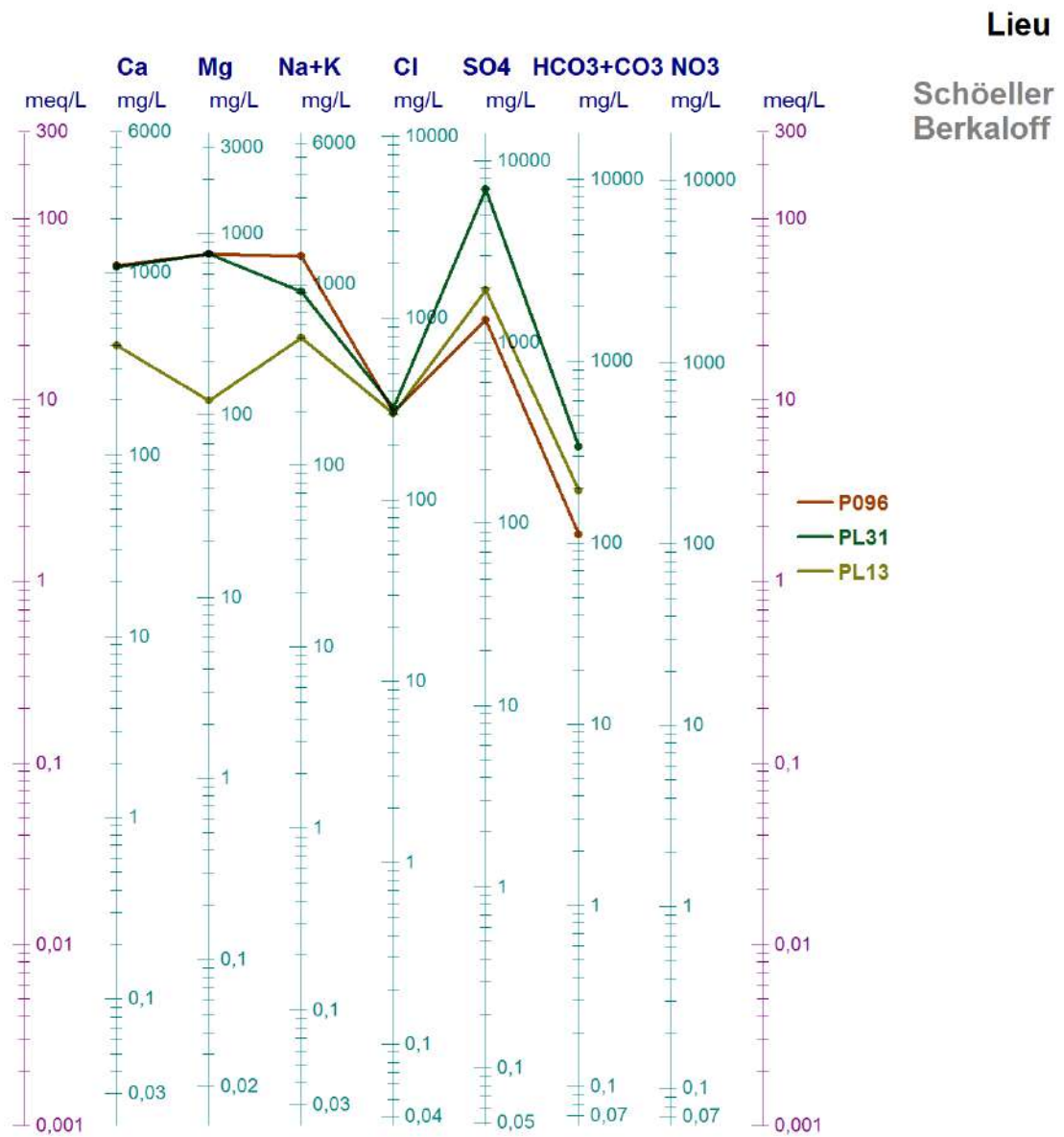


Figure 4-4-b : représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe superficielle dans la ville de ouargla sur le diagramme de Schoeler-Berkaloff

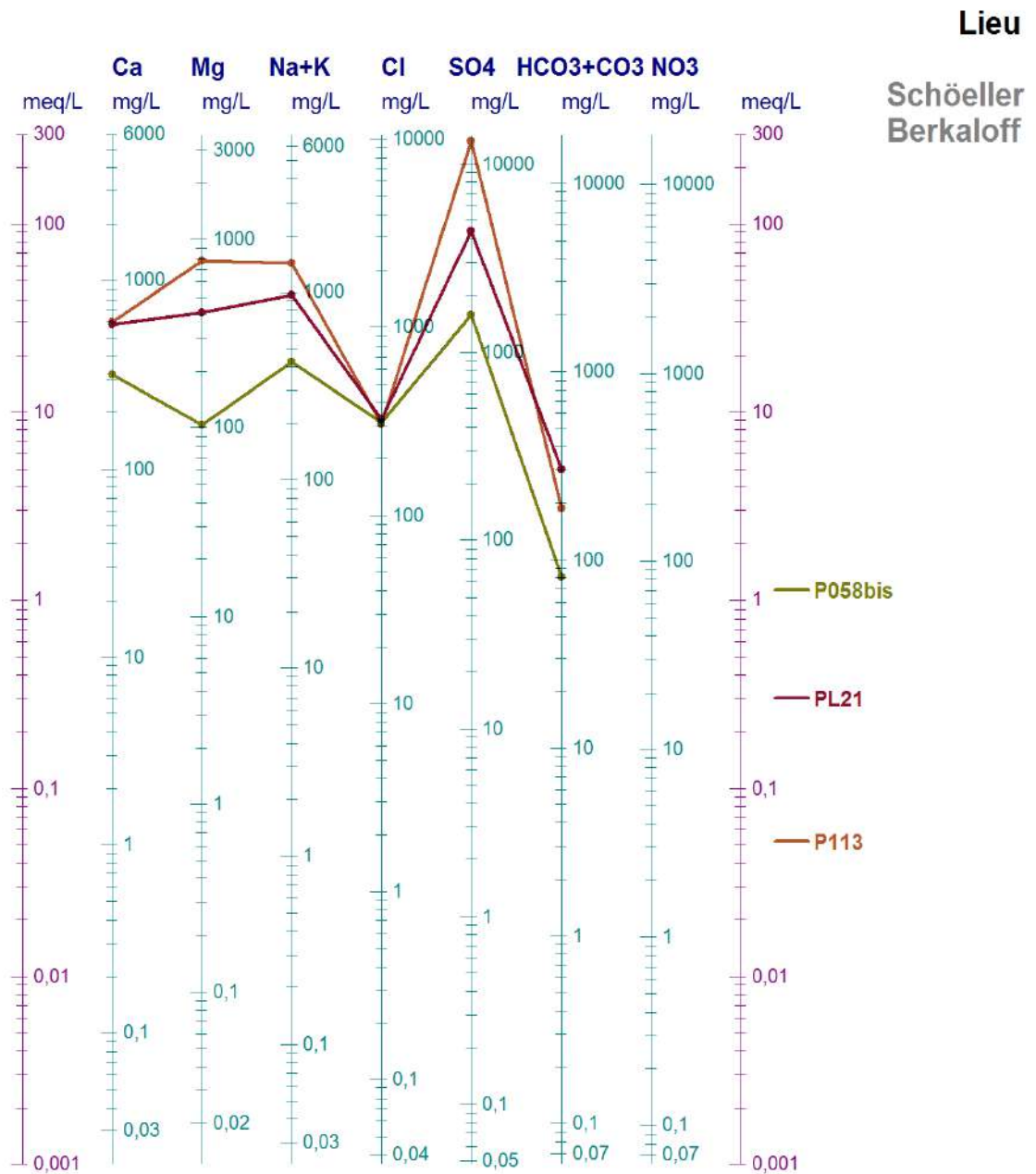


Figure 4-4-c: représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe superficielle dans la ville de ouargla sur le diagramme de Schoeler-Berkaloff

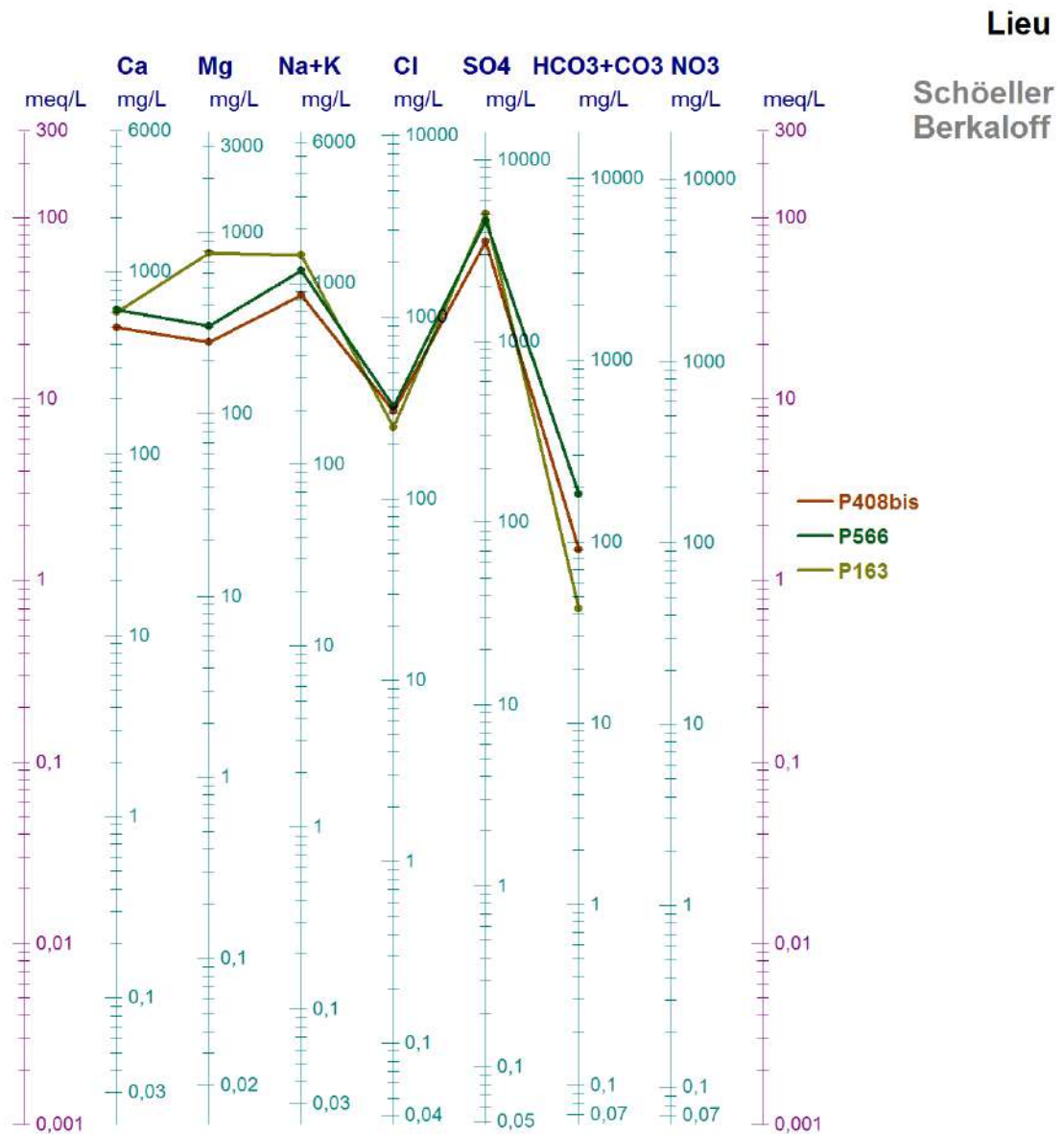


Figure 4-4-d : représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe superficielle dans la ville de ouargla sur le diagramme de Schoeler-Berkaloff

4-7-1-1- L'interprétation des résultats :

Selon les diagrammes de SCHOELLER-BERKALOFF on peut conclure d'après les valeurs de **PH** d'équilibre et la teneur de **CO₂** libéré que l'eau est **incrustante** parce que le **PH** mesuré sur le terrain inférieur au **PH** d'équilibre.

4-7-2- Classification de Piper :

La représentation des données physico-chimiques sur le diagramme de Piper montre plusieurs faciès chimiques qui dépendent de la nature géologique de l'aquifère, des activités agricoles et industrielles.

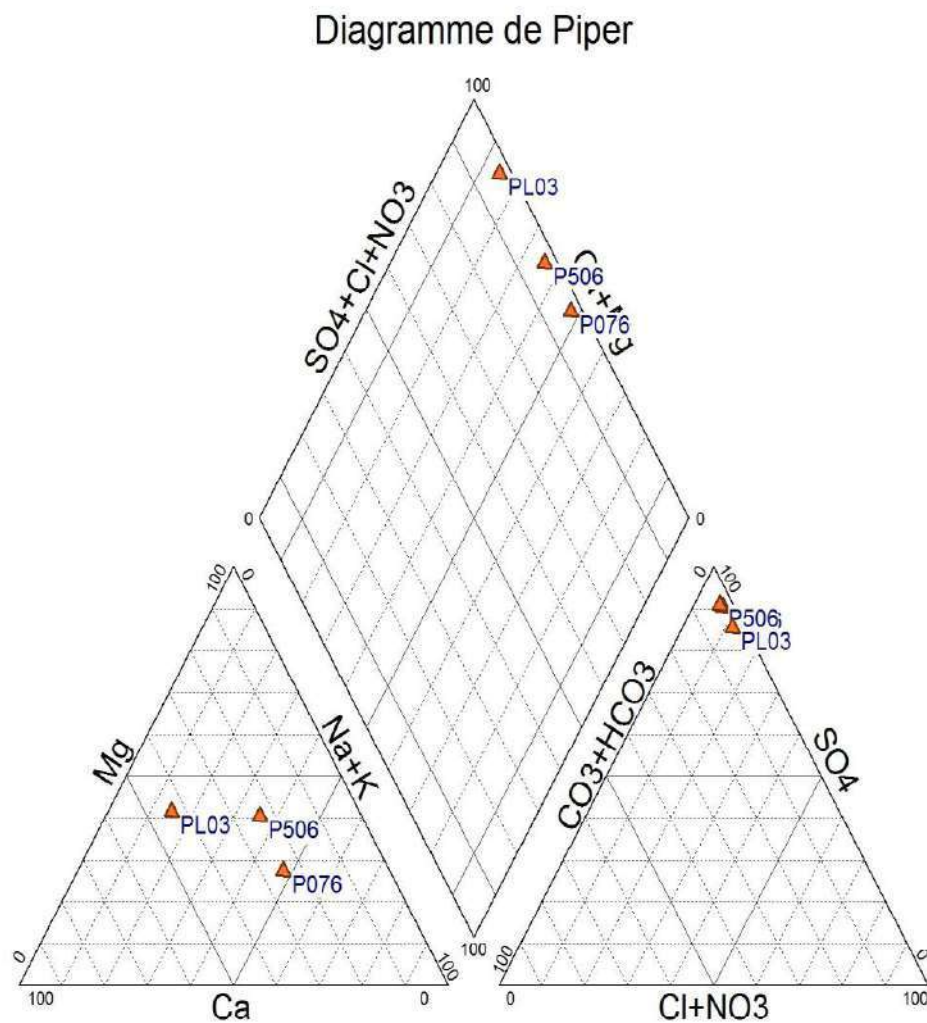


Figure 4-5-a : représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe phréatique dans la ville de ouargla sur le diagramme de piper

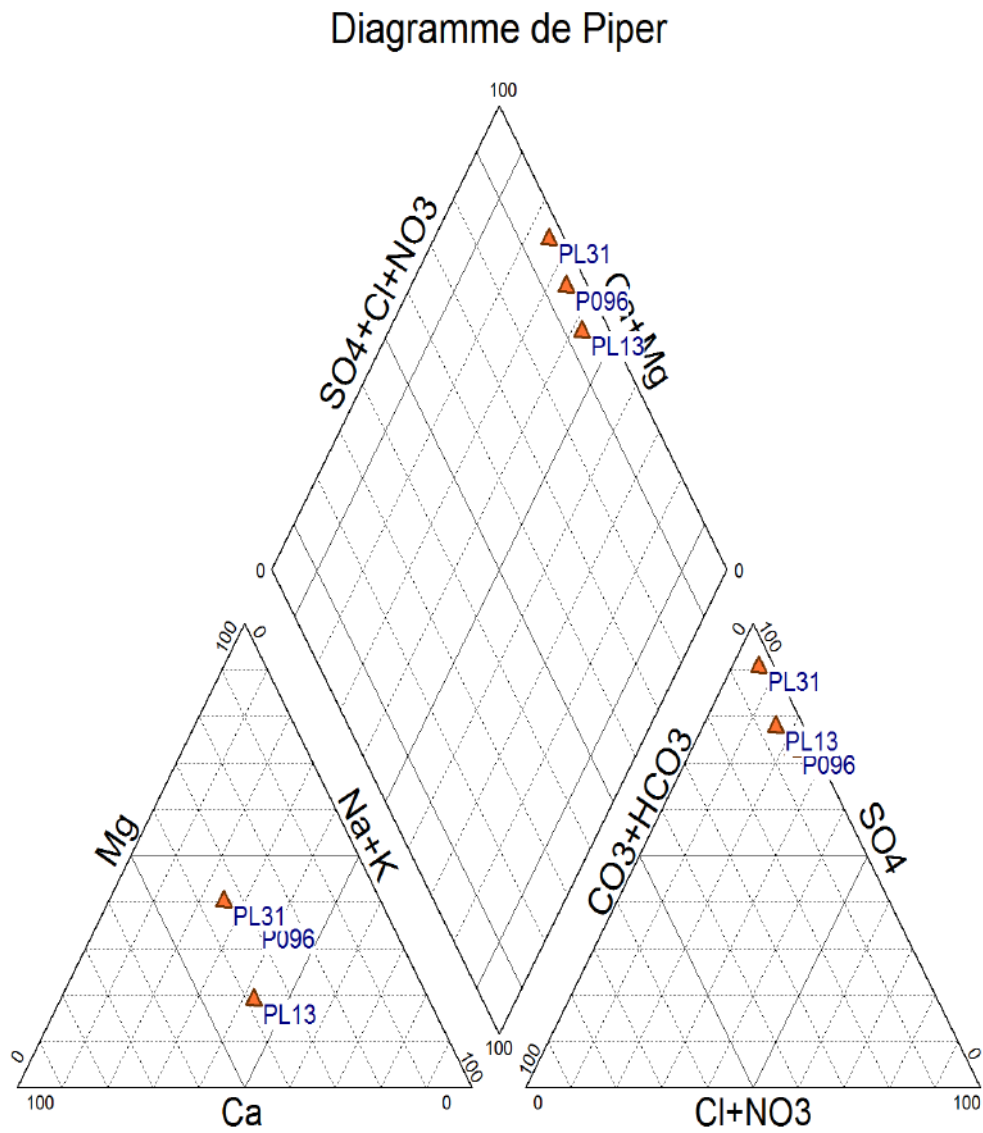


Figure 4-5-b :représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe phréatique dans la ville de ouargla sur le diagramme de piper

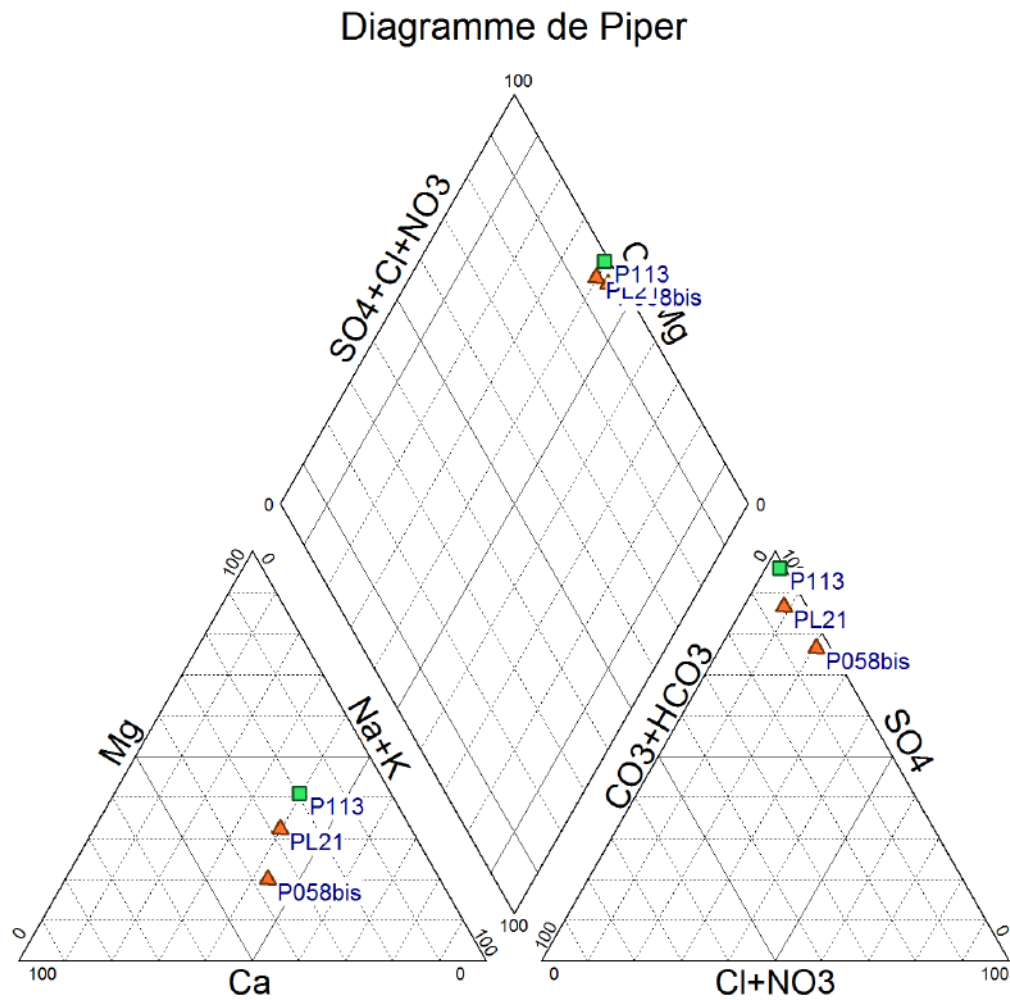


Figure 4-5-c :représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe phréatique dans la ville de ouargla sur le diagramme de piper

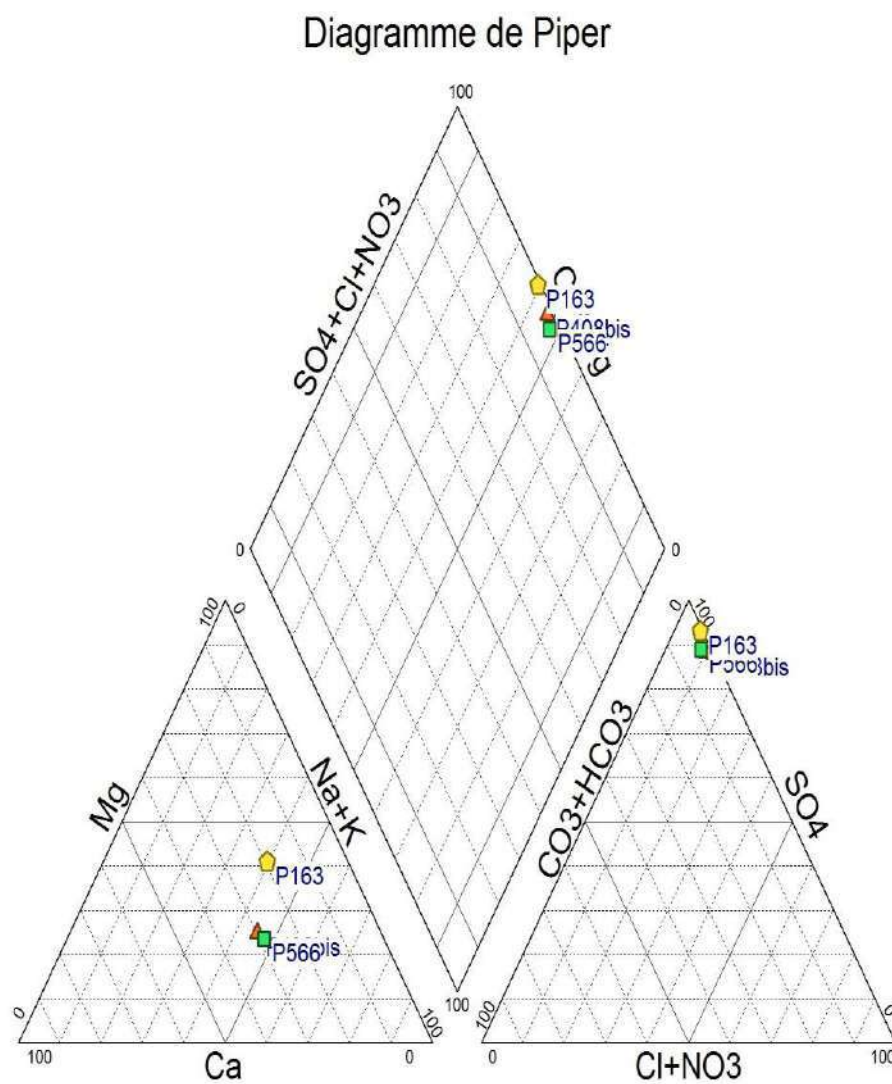


Figure 4-5-d :représentation des éléments chimiques des eaux de la nappe phréatique dans la ville de ouargla sur le diagramme de piper

4-7-2-1- Interprétation des résultats :

Le diagramme de piper comprend un losange et deux triangles équilatéraux, le losange occupe la partie centrale de diagramme et les triangles la partie inférieure.

Dans notre cas :

Le diagramme de Piper montre que la distribution des points d'eau occupe, d'une part, au niveau du triangle des anions le pôle sulfaté, d'autre part, au niveau du triangle des Cations sont réparties entre le pôle sodique et magnésienne. Ceci montre bien deux faciès chimiques Sulfaté Sodique et Sulfaté Magnésienne

4-7-3- Classification de STABLER

Pour classer chimiquement les eaux, on fait recours à plusieurs formules, la plus simple est celle de STABLER, elle consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale de l'eau, cette formule est la suivante:

$$r \% = (100/C_T) \times r$$

Avec : r : est la quantité en réaction de l'ion considéré en meq/l.

C_T : la concentration totale.

On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant, on obtient les différents faciès chimiques des eaux étudiées.

Tableau 4-2 : Classification de STABLER

PUITS	ANIONS	CATIONS	FACIES
P076	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Na>r%Mg>r%Ca	Sulfaté Sodique
P566	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Na>r%Ca>r%Mg	Sulfaté Sodique
P058BIS	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Na>r%Ca>r%Mg	Sulfaté Sodique
P506	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Mg>r%Na>r%Ca	Sulfaté Magnésienne
P408BIS	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Na>r%Mg>r%Ca	Sulfaté Sodique
PL21	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Na>r%Ca>r%Mg	Sulfaté Sodique
PL13	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Na>r%Ca>r%Mg	Sulfaté Sodique
PL03	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Mg>r%Ca>r%Na	Sulfaté Magnésienne
PL31	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Mg>r%Na>r%Ca	Sulfaté Magnésienne
P113	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Mg>r%Na>r%Ca	Sulfaté Magnésienne
P163	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Mg>r%Na>r%Ca	Sulfaté Magnésienne
P096	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Mg>r%Na>r%Ca	Sulfaté Magnésienne

4-7-3-1- Interprétation des résultats :

D'après la classification de Stabler, les eaux de la nappe phréatique de la ville d'Ouargla nous donnent deux différents faciès chimiques qui sont : **Sulfaté Magnésienne et Sulfaté Sodique**

4-8- Conclusion

D'après l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la nappe phréatique dans la ville de Ouargla, on a remarqué que cette région est touchée par un problème de salinité des sols et des eaux de cette nappe, cette sur-salinité liée à la forte évaporation et l'origine de ces eaux qu'il est formé par le mélange entre les eaux des nappes profondes utilisées pour l'irrigation et les fuites des rejets des eaux usées, qui vont contaminer la nappe.

Cette salinité augmente lorsque le niveau de la nappe s'approche à la surface du sol du à l'effet de l'évaporation sur cette zone.

L'usage agricole et industriel de ces eaux ne peut se faire qu'après traitement.

Conclusion générale

La remontée des eaux de la nappe phréatique est l'origine depuis long temps d'un excès d'eau dans la cuvette de Ouargla et elle est causée principalement à la topographie trop plane conjuguée à un manque d'exutoire naturel pour les eaux usées, ceci résulte une pollution des eaux de la nappe phréatique et un impact négatif sur l'environnement.

Des travaux d'évacuation des eaux en excès ont été faites (réalisation des stations de pompage et de relevage, des stations d'épuration, réhabilitation et renouvellement des réseaux d'assainissement), leur objectif était de rabattre la nappe et de trouver un nouvel exutoire.

Notre travail de recherche consiste à vérifier l'efficacité des travaux d'évacuation des eaux en excès de la ville de Ouargla.

Le résultat obtenu après une comparaison entre la situation avant les travaux et après, montre que le niveau piézométrique n'a pas baissé d'une façon remarquable mais il augmente dans un point et il diminue dans un autre.

Le climat de la région de Ouargla est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations et les températures trop élevées, mais aussi par une forte évaporation.

Les nappes phréatiques sont des ressources aléatoires et généralement de mauvaise qualité, elles sont alimentées par les eaux d'irrigation des forages profonds.

Le drainage des périmètres irrigués et l'évacuation des eaux au niveau de Ouargla se fait par pompage quotidien vers un lieu de rejet plus loin.

Les études hydrochimiques nous montrent que les eaux souterraines de la nappe superficielle dans la ville de Ouargla face le problème de salinité des sols et des eaux de cette nappe, qui vont la contaminer.

Donc d'après cette étude le changement d'exutoire probablement n'a aucun effet sur le rabattement de l'eau dans la nappe phréatique, par ce qu'on a observé une remontée dans quelques piézomètres.

Enfin il faut faire un contrôle et un suivi pour les travaux afin de vérifier l'efficacité des travaux.

Bibliographie

- 1- A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques – Ouargla
- 2- ATEF LABED (2009)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla. Mémoire d'ingénieur en hydrogéologie. Univ, Constantine, Algérie.
- 3-BG (2004)** : Projet de protection de la cuvette de Ouargla contre la remontée des eaux, études de reconnaissance et rapports internes
- 4-BELLAOUEUR ABD EL AZIZ(2008)** : Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région De ouargla soumise a la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de solution palliatives. Mémoire de magistère en génie civil et des milieux aquifères .Univ EL-HADJ LAKHDAR –BATNA. Algérie.
- 5-BEL F. & CUCHE D. (1969)** : Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algérie, 20p.
- 6-BUSSON G. (1972)** : Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p.
- 7-CONRAD G. (1969)** : L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien. Centre de recherche sur les zones arides. Série géologie n° 10, CNRS, Paris, 527p.
- 8-DJIDEL MOHOMMED (2008)** : Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de La cuvette de Ouargla these Doctorat en hydrogéologie .Univ BADJI MOKHTAR – ANNABA.
- 9-DUBIEF J. (1963)** : Le climat du Sahara. Institut des recherches sahariennes. Mémoire hors série, tome 1 et 2. Alger, 275p
- 10-ENAGEO (1992)** - Rapport interne d'étude géophysique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla Novembre 1989- Ouargla, 32 p.
- 11-FABRE J. (1976)** : Introduction à la géologie du Sahara algérien. SNED, Alger, Algérie, 422p.
- 12-GENETIER B. (1984)** : La pratique des pompages d'essai en hydrogéologie, Manuels et méthodes du B.R.G.M., no 9, pp.13-31, France.
- 13-HOUARI IDIR MENAD & SALMI MOHAMED(2009)** : Reconnaissance géologique des formations aquifères de la basse vallée de l'oued Mya (Région de Ouargla). Mémoire d'ingénieur en hydrogéologie. Univ KASDI MERBAH OUARGLA, Algérie.

14-LTPS (2003) - Rapport d'étude géotechnique interne (L'assainissement des eaux résiduaires, Pluviales et d'irrigation). Vallée de ouargla, 11p.

15-NEZLI Imed Eddine(2009) : Approche hydrogéochimie à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued MYA (Ouargla). these Doctorat en Sciences en Hydraulique.Univ Mohamed Kheider – Biskra

16- O.N.A : Office Nationale de L'Assainissement Ouargla

17- O.N.M : Organisation Nationale Météorologique données climatiques Ouargla

18-OSS (2003 a et b) : Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.

19-SONATRACH et SCHLUMBERGER (1990) : Géologie de l'Algérie. Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement, 93p.

20-UNESCO. (1972). Projet ERESS. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris. 100 p.

Tableau caractéristiques chimiques des eaux de la nappe phréatique

N°	Communs	X (UTM)	Y (UTM)	T °C	Cond (µs/cm)	Miné (mg/l)	PH	PH (equi)	O₂ (mg/l)
P076	Route bamendil	716673	3540153	18.1	11233,4	8539,9	7.1	6.7	20
P566	Said otba	71936	3539748	18	10104,4	7210,4	7.3	6.7	11
P058bis	Hassi miloud	716547	3547299	18.3	3927,42	2813,26	7.7	6.8	10
P506	Route ain bida	725046	3535619	18	15585,4	9304,62	6.9	6.3	40
P408bis	Bour el haicha	719929	354503	18	10962,1	5552,22	6.6	6.2	24
PL21	Entv	721226	3536091	18.3	10265,3	7015,06	6.9	6.4	46
PL13	Parc hydraulic	720141	3536437	18.1	4489,2	3471,42	6.9	6.6	30
PL03	CEM malek	725778	3538162	18.2	10982,8	4719,72	6.6	6.1	38
PL31	Maison de la culture	720055	3538007	17.7	15604,2	10332,69	6.5	5.7	120
P113	Sonelgaz	714535	3535609	18.1	24927,5	17024,29	6.9	6.1	28
P163	Oum raneb	725362	3545148	18	13138,1	8571,2	5.5	4.9	200
P096	Said otba-chott	724681	3540295	18	24856,6	16941,55	6.7	6	26

Tableau classification des eaux selon STABLER

Classification de STABLER		Faciès chimique
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Na > r\%Mg > r\%Ca$	Sulfaté Sodique
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Na > r\%Ca > r\%Mg$	Sulfaté Sodique
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Na > r\%Ca > r\%Mg$	Sulfaté Sodique
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Mg > r\%Na > r\%Ca$	Sulfaté Magnésienne
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Na > r\%Mg > r\%Ca$	Sulfaté Sodique
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Na > r\%Ca > r\%Mg$	Sulfaté Sodique
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Na > r\%Ca > r\%Mg$	Sulfaté Sodique
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Mg > r\%Ca > r\%Na$	Sulfaté Magnésienne
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Mg > r\%Na > r\%Ca$	Sulfaté Magnésienne
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Mg > r\%Na > r\%Ca$	Sulfaté Magnésienne
$r\%SO_4 > r\%CL > r\%HCO_3$	$r\%Mg > r\%Na > r\%Ca$	Sulfaté Magnésienne

Tableau des mesures de piezometre dans la ville de ouargla 2012 - 2017

N	Nom	Region	X(UTM)	Y(UTM)	H(m)	NP(m)2012	NP(m)2017
1	P076	Route Bamendil	716673	3540153	131	0.10	/
2	P566	Said Otba	719360	3539748	133	1.85	1.52
3	P408bis	Bour El Haicha	719929	3545030	132.41	4.03	4.49
4	P058bis	Hassi miloud	716547	3547299	144	16.41	/
5	P057	Aouinet mouss-N'Goussa	717299	3548979	125	4.12	3.74
6	P059	Hassi miloud	718307	3547244	129	12.8	12.03
7	P64	prison Said outba	720164	3542662	115.02	2.03	0.89
8	P423	vers chott	722995	3540505	109	2.23	1.81
9	P096	Said Otba-Chott	724681	3540295	130.02	1.38	0.43
10	P419	vers chott	725613	3539700	100	1.05	0.4
11	P163	Oum Raneb	725362	3545148	128.15	1.47	1.05
12	P162	Sebkhet Oum Raneb	725077	3546159	127.83	1.28	1.04
13	PZ12	Oum Raneb	722874	3547251	122	1.27	/
14	PL03	CEM Malek	725778	3538162	130.01	0.92	0.34
15	P506bis	Route ain Bida	725046	3535619	125	1.15	0.86
16	P538(PLX2)	Route Ain Bida (chott)	724063	3537323	124	1.62	0.7
17	P113	sonelgaz	714535	3535609	132.9	4.33	3.46
18	PL27	CNMC	718348	3535505	137.52	5.48	5.13
19	PL28	PARC SONACOM	719492	3536084	136.99	4.99	/
20	PL17	CEM Larbi Ben M'hidi	718442	3536925	134.28	2.07	1.35
21	PLSN1	Complexe hydraulique	719351	3537714	138	5.15	/
22	PL31	Maison de la culture	720055	3538007	137.53	1.99	1.39
23	PL32	Ecole paramédicale	720227	3538534	135.73	2.69	2.14
24	PL13	PARC HYDRAULIQUE	720141	3536437	137	1.75	1.3
25	PL21	ENTV	721226	3536091	134.93	2.19	1.79

Résumé

La cuvette de Ouargla a souffert pendant une longue période de la remontée des eaux de la nappe phréatique, En effet plusieurs facteurs ont facilité, cette phénomène Exploitation des nappes artésiennes CI et CT , stagnation des eaux en surface et ,Augmentation des rejets urbains et industriels,

L'objectif de ce travail consiste à identifier et étudier les différents paramètres qui contribuent à ce phénomène et préciser le niveau d'eau de la nappe phréatique, et de même le sens d'écoulement d'après la réalisation de la carte piézométrique et les causes principales de la remontée des eaux de la nappe phréatique dans cette zone , une topographie très plane conjuguée à un manque d'exutoire naturel ,Transfert des eaux des nappes profondes vers les nappes phréatiques par la communication inter nappes

Le résultat obtenu elle est réalisation des stations de pompage et de relevage, des stations d'épuration, réhabilitation et renouvellement des réseaux d'assainissement, leurs objectif était de rabattre la nappe et de trouver un nouvel exutoire.

Mots clés : nappe phréatique, remontée, communication, piézométrique, Ouargla

المخلص

قد عانى حوض ورقلة لفترة طويلة من ارتفاع منسوب المياه الجوفية ، وقد تسببت هذه الظاهرة بالفعل عدة عوامل ، استغلال مجاري المياه الارتوازية CI و CT ، ركود المياه السطحية ، وزيادة التصريفات الحضرية والصناعية ، الهدف من هذا العمل هو تحديد ودراسة مختلف العوامل التي تساهم في هذه الظاهرة وتحديد منسوب المياه الجوفية ، وأيضاً اتجاه التدفق وفقاً لإدراك الخريطة البيزومترية و الأسباب الرئيسية لارتفاع منسوب المياه الجوفية في هذه المنطقة،وهي تضاريس مسطحة جداً مقترنة بنقص المخرج الطبيعي ، ونقل المياه من المياه الجوفية العميقة إلى المياه السطحية من خلال التواصل بينهم. النتيجة التي تم الحصول عليها هي بناء محطات الضخ والرفع ، ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي ، وإعادة تأهيل وتجديد شبكات الصرف الصحي ، وكان هدفهم هو طي جدول المياه وإيجاد منفذ جديد.

الكلمات المفتاحية: منسوب المياه ، الصعود ، التواصل ، مستوى المياه، ورقلة

Abstract

The basin of Ouargla has suffered for a long time from the upwelling of the water table, Indeed several factors have facilitated, this phenomenon Exploitation of artesian water tables CI and CT, stagnation of surface water and, Increase of urban and industrial discharges ,

The objective of this work is to identify and study the various parameters that contribute to this phenomenon and to specify the water level of the groundwater table, and also the direction of flow according to the realization of the piezometric map and the main causes of upwelling of the water table in this area, a very flat topography combined with a lack of natural outlet, transfer of water from deep groundwater to the groundwater through the communication inter tablecloths

The result obtained is the construction of pumping and lifting stations, sewage treatment plants, rehabilitation and renewal of sanitation networks, their objective was to fold down the water table and find a new outlet.

Key words: water table, ascent, communication, piezometric, Ouargla