

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES  
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



## Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

### THEME

Evolution de la salinité du sol et de la nappe phréatique de la cuvette  
de Ouargla

Présenté par

**FEKHAR Hamza**  
**CHABA Houssam Eddine**

*Soutenu publiquement le*

**Devant le jury :**

**Président :** NEZLI Imed Eddine  
**Promoteur :** HADJ-SAID Samia  
**Examineur :** BOUSELSAL Boualem

Pr. Univ. Ouargla  
Pr. Univ. Ouargla  
M.C. A Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2017/2018**

## Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à celui que nous ne pourrions jamais remercier assez, à la mémoire de nos pères **BAKIR ET ABDELMALEK.**

À nos mères, auxquelles nous tenons à exprimer nos profondes gratitude et tous nos respects pour toutes leurs aides, leurs affections et leurs sacrifices.

À nos frères : **Chaba-** Mohamed El Habib,  
Hadj El Aid.

**Fekhar-** Idris, Mohamed.

À nos sœurs.

À nos grands-pères et grands-mères

À nos oncles et cousins

À nos amis : Anouar, Mohammed, Ilyas,  
Abdellah, AbdErraouf, Moumen, Fagez.

À nos neveux et nièces : **Fekhar-** Kacem,  
Djawed, Sabrina

À nos fiancées.

À toute nos familles et tous nos amis.

À tous ceux qu'un jour profiteront de ce travail.

## **Remerciement :**

*Avant tout, nous remercions Dieu (Allah), de nous 'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre Le chemin de la science.*

*Nos sincères remerciements et nos profondes gratitude s'adressent à notre promotrice **Mme HADJ- SAID Samia** professeur au département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Faculté HERSTU, Université KASDI Merbah Ouargla, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa patience, encouragements, orientations et ses conseils précieux.*

*Noustenons également à remercier, Mr. **NEZLI Imed Eddine** professeur au département des Sciences de la Terre et l'Univers, Faculté HERSTU, et Mr. **BOUSELSAL Bouelam** Chef de spécialité Hydrogéologie au département des Sciences de la Terre et de l'Univers de nous 'avoir fait l'honneur de faire partie du jury de ce travail, qu'il trouve nos vifs remerciements*

*Nos remerciements à Mr. **KECHICHE Rabeih** docteur et chef de département-Adjoint chargé de la Post-Graduation et de la recherche scientifique, Mr. **ZEDDOURJ Aziez** professeur au département des Sciences de la Terre et de l'Univers et Mr. **HAMDI AISSA Baelhadj** professeur à l'Université KASDI MERBAH de Ouargla, pour leurs précieuses aides, leurs appuis et leurs conseils précieux.*

*Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements*

- *A tout le corps enseignant de l'Université KASDI MERBAH, Faculté HERSTU particulièrement ceux du département des Sciences de la Terre et de l'Univers.*
- *A Tous les amis et les étudiants, en particulier les amis de notre promotion.*
- *A l'ensemble du personnel des laboratoires LTPS et ADE de Ouargla particulièrement Mme **Chaibani Aicha** et Mme **Kabdi Saliha**.*
- *A l'ensemble du personnel du laboratoire RSPGA du Centre de recherche du pôle universitaire 03, Université KASDI Merbah Ouargla.*

*Nos remerciements vont également aux:*

- *Personnel de l'ONA et de l'O.N.M de Ouargla*

*Pour leurs accueils et d'avoir mis à notre disposition la documentation nécessaire*

- *A **odina rayel** pour son aide précieuse*

*Enfin, nous sommes reconnaissants envers tous les membres de nos familles **FEKHAR** et **CHABA** qui nous 'ont soutenu tout au long de ces études, Ainsi que tout ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, qu'ils soient assurés de notre profonde gratitude.*

## Sommaire

Sommaire.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux .....	IV
Liste des abréviations .....	V
Introduction .....	01

### Chapitre I : Généralité

I-1 Définitions.....	03
I.2- Salinisation du sol.....	03
I.2.1- Origine de la salinisation du sol .....	03
I.2.2- Types de salinisation.....	03
I.2.2.1- Salinisation primaire ou naturelle.....	03
I.2.2.2- Salinisation secondaire.....	04
I.2.3- Les causes de la salinisation.....	04
I.2.4- Les processus et mécanismes géochimiques de la salinisation des sols.....	04
I.2.4.1- Nature des processus géochimiques dans le cas des sols salés.....	04
I.2.4.1.1- Précipitation-dissolution des minéraux dans les sols salés .....	04
I.2.4.1.2- Les échanges cationiques.....	06
I.2.4.1.2.1- Echanges cationiques dans les sols salés.....	06
I.2.4.1.3- Les processus d'oxydo-réduction.....	06
I.2.5- Signes de la salinisation.....	06
I.2.6- Classification des sols salés.....	07
I.2.6.1- Sols salins.....	07
I.2.6.2- Sols salins à alcalins.....	07
I.2.6.3- Sols alcalins.....	07
I.2.7- Salinité de sol dans le monde.....	08
I.2.8- Salinité de sol en Algérie.....	08
I.3- Salinisation de la nappe.....	08
I.3.1- Origine de la salinisation de la nappe.....	08
I.3.1.1- Source de salinité naturelle.....	08
I.3.1.2- Sources de salinité anthropique.....	10

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

<b>II.1- Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>II.2- Situation géographique.....</b>	<b>11</b>
<b>II.3- Topographie et géomorphologie de la région.....</b>	<b>12</b>
<b>II.4-Occupation du sol de la région d'Ouargla.....</b>	<b>14</b>
<b>II.5-Géologie de la zone d'étude.....</b>	<b>15</b>
<b>II.6-Stratigraphie.....</b>	<b>16</b>
<b>II.6.1-Mésozoïque.....</b>	<b>16</b>
<b>II.6.1.1Crétacé .....</b>	<b>16</b>
- Barrémien.....	16
- Aptien .....	16
- Albien .....	17
- Vraconien .....	17
- Cénomaniens.....	17
- Turonien.....	17
- Sénonien lagunaire .....	17
- Sénonien et Eocène .....	18
<b>II.6.2-Cénozoïque .....</b>	<b>18</b>
<b>II.6.2.1 Néogène (Mio-pliocène).....</b>	<b>18</b>
<b>II.6.3-Quaternaire.....</b>	<b>18</b>
<b>II.7-Aperçu sur la ressource en eau dans la région .....</b>	<b>20</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>21</b>

## Chapitre III : Climatologie de la région d'étude

<b>III.1-Introduction .....</b>	<b>22</b>
<b>III.2-Facteurs climatiques .....</b>	<b>22</b>
<b>III.2.1-La précipitation .....</b>	<b>22</b>
<b>III.2.2-Température .....</b>	<b>23</b>
<b>III.2.3- L'humidité de l'air .....</b>	<b>25</b>
<b>III.2.4- Le vent .....</b>	<b>26</b>
<b>III.2.5- L'insolation .....</b>	<b>26</b>

<b>III.2.6- Evaporation et évapotranspiration .....</b>	<b>27</b>
<b>III.2.6.1- Evaporation .....</b>	<b>27</b>
<b>III.2.6.2- L'évapotranspiration.....</b>	<b>27</b>
<b>III.2.6.2.1- L'évapotranspiration potentielle (ETP) .....</b>	<b>27</b>
<b>III.7-Bilan d'eau de la nappe phréatique.....</b>	<b>30</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>31</b>

## **Chapitre IV : Matériels et méthodes**

<b>IV.1- Introduction.....</b>	<b>32</b>
<b>IV.2- Echantillonnage .....</b>	<b>32</b>
<b>IV.2.1- Matériel utilisé .....</b>	<b>33</b>
<b>IV.3- Méthodes d'analyse d'eau .....</b>	<b>33</b>
<b>IV.3.1- Paramètres physiques .....</b>	<b>33</b>
<b>IV.3.2- Paramètres chimiques .....</b>	<b>34</b>
<b>IV.3.2.1- Détermination des ions <math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{Mg}^{2+}</math> et de la dureté totale TH .....</b>	<b>34</b>
<b>IV.3.2.2- Dosage des cations <math>\text{K}^{+}</math> et <math>\text{Na}^{+}</math> .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3.2.3- Dosage du chlorure .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3.2.4- Dosage des carbonates et bicarbonates .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3.2.5- Dosage des sulfates.....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4- Analyses du sol .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.1- Analyse granulométrique .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.2- Chimie du sol .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.4.2.1- Gypses et Insolubles (<math>\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}</math>) .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.4.2.2- Dosage de Carbonate de Calcium (<math>\text{CaCO}_3</math>) .....</b>	<b>39</b>
<b>IV.4.2.3- Les Chlorures (<math>\text{Cl}^{-}</math>) .....</b>	<b>40</b>

## **Chapitre V : Résultats et Discussion**

<b>V.1-Introduction .....</b>	<b>42</b>
<b>V.2-Résultats des analyses du sol .....</b>	<b>42</b>
<b>V.2.1-L'analyse granulométrique .....</b>	<b>42</b>
<b>V.2.2-Les caractéristiques physico-chimiques du sol .....</b>	<b>45</b>
<b>V.3- Résultats de l'étude de la nappe .....</b>	<b>47</b>
<b>V.3.1- Les caractéristiques physico-chimiques de la nappe .....</b>	<b>47</b>
<b>V.4-Evolution spatio-temporelle du niveau et de la salinité de la nappe .....</b>	<b>48</b>
<b>V.4.1-Piézométrie de la nappe .....</b>	<b>48</b>
<b>V.4.2-Suivi de l'évolution du niveau et de la salinité de la nappe.....</b>	<b>50</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>57</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>58</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	
<b>Résumé</b>	

## Liste des figures

Fig. I-1 : Origine de la salinisation du sol (IPTRID, FAO, CISEAU, 2006).....	3
Fig. I-2 : Mécanisme naturel de salinisation des eaux surface et souterraine (BRGM/RP-60186).....	9
Fig. II-1 : Carte de situation géographique de la zone d'étude.....	11
Fig. II-2 : Relief de la région de Ouargla (BG, 2004).....	12
Fig. II-3 : Coupe géomorphologique schématique de la vallée de Ouargla (Hamdi Aissa 2000).....	13
Fig. II-4 : Carte d'occupation du sol (BG 2004).....	15
Fig. II-5 : Relief géologique de la région de Ouargla.....	16
Fig. II-6 : Colonne stratigraphique synthétique de la région de Ouargla ( HOUARI, 2009)...	19
Fig. III-1 : Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2017).....	23
Fig. III-2 : Température moyenne mensuelle dans la région d'Ouargla (1996-2017).....	24
Fig. III-3 : Courbe ombrothermique de la région de Ouargla (1996-2017).....	24
Fig. IV-1 : Prélèvement des échantillons du sol et de l'eau de la nappe phréatique.....	32
Fig. IV-2 : Mesure de la conductivité (C.E) et du pH par le Multi-paramètres HI 9829.....	34
Fig. IV-3 : Dosage de Calcium $Ca^{2+}$ et dureté de l'eau TH.....	34
Fig. IV-4 : Dosage du Potassium $K^{+}$ et le Sodium $Na^{+}$ par Spectrophotomètre à flamme.....	35
Fig. IV-5 : Dosage de sulfate par le spectrophotomètre atomique.....	36
Fig. IV-6 : Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage.....	37
Fig. IV -7 : Mesure de la Conductivité (CE) et du pH du sol .....	38
Fig. IV -8 : Dosage du gypse et des insolubles ( $CaSO_4, 2H_2O$ ).....	39
Fig. IV-9 : Dosage de Carbonate de Calcium ( $CaCO_3$ ).....	40
Fig. IV-10 : Dosage de Chlorure ( $Cl^{-}$ ).....	41
Fig. V-1 : Courbe granulométrique du sondage T2.....	42
Fig. V-2 : Courbe granulométrique du sondage T5.....	43
Fig. V-3 : Courbe granulométrique du sondage T8.....	43
Fig. V-4 : Diagramme de Piper de la nappe de Ouargla.....	48
Fig. V-5 : Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2003).....	49
Fig. V-6 : Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2015).....	50
Fig. V-7 : Carte de situation des sondages.....	51
Fig. V-8 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le premier profil .....	52



Fig. V-9 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le premier profil.....52

Fig. V-10 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le deuxième profil .....53

Fig. V-11 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le deuxième profil.....53

Fig. V-12 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le troisième profil .....54

Fig. V-13 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le troisième profil.....54

Fig. V-14 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le quatrième profil .....55

Fig. V-15 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le quatrième profil.....55

Fig. V-16 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le cinquième profil.....56

Fig. V-17 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le cinquième profil.....56

## **Liste des tableaux**

Tableau. III-01 : Coordonnées de la station météo de Ouargla.....	22
Tableau. III-02 : Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2017)...	22
Tableau. III-03 : Moyennes mensuelles de la température (ONM de Ouargla, 1996-2017)....	23
Tableau. III-04 : Humidité moyenne mensuelle (%), (ONM de Ouargla, 1996-2017).....	25
Tableau. III-05 : Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent (ONM de Ouargla, 1996- 2017).....	26
Tableau. III-06 : Insolation mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2017).....	26
Tableau. III-07 : Evaporation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2017).....	27
Tableau. III-08 : Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (période1996- 2017).....	28
Tableau. III-09 : Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (période1996-2017).....	29
Tableau. V-01: paramètres physiques du sable de la région.....	44
Tableau. V-02 : Résultats des analyse physico-chimiques du sol.....	46

## Liste des abréviations

- ADE** : algérienne des eaux
- AEP** : Alimentation en Eau Potable
- CE** : Conductivité électrique.
- CEC** : Capacité des changes cationiques.
- CI** : Continental Intercalaire
- CT** : Complexe Terminal
- ESP** : Taux de sodium échangeable.
- ETP** : évapotranspiration potentielle du mois en (mm)
- FAO**: Food and Agriculture Organization.
- LTPS** : Laboratoire des Travaux Publiques du Sud
- O.N.M** : Office National des Météorologie.
- OSS** : Observation du Sahara et du Sahel
- pH** : Potentiel d'hydrogène
- RSC** : résiduel sodium carbonates
- S.A.R.**: Sodium adsorption ratio.
- SASS** : Système Aquifère du Sahara Septentrional
- ONA** : Office National de l'Assainissement

*Introduction*

*Générale*

## **Introduction générale**

Ces dernières années, les ressources hydriques souterraines sont devenues un sujet de préoccupation à l'échelle planétaire à cause de plusieurs facteurs notamment l'exploitation intensive générée par l'accroissement démographique et le développement agricole et industriel. En effet, cette exploitation convergeant avec les changements climatiques induisent une menace sur la pénurie, des eaux souterraines, d'une part et sur la détérioration de leur qualité, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux souterraines est généralement exprimée par la contamination et la salinisation. Cette dernière est générée par plusieurs fléaux à savoir l'utilisation excessive des engrais chimiques, les effluents industriels et domestiques, etc.(M'nassri Soumaia, 2013).

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) occupe une superficie d'un plus d'un million de km<sup>2</sup> dans la partie occidentale de l'Afrique du Nord : environ 700 000 km<sup>2</sup> en Algérie, 80 000 km<sup>2</sup> en Tunisie et 250 000 km<sup>2</sup> en Libye. Ce sont des dépôts continentaux dans lesquels on distingue en réalité deux aquifères que l'on va appeler, de bas en haut, le « continental intercalaire »CI, et le « complexe terminal », CT.(Bied-Charreton, 1999-2002).

En Afrique du Nord, la combinaison entre un passé géologique favorable au stockage des sels, l'aridité du climat, l'hydrologie, et l'irrigation mal contrôlée font de la salinisation des sols une menace permanente (Aubert, 1975 ; Hullin, 1983).

La salinité est parmi les problèmes majeurs qui affectent les sols et les eaux dans beaucoup de pays du monde (Szabolocs, 1979). Elle constitue une grande menace pour certains sols cultivés dans le monde (Cheverry et Bourrie, 1998). Elle est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (Al-Karaki, 2000, Baatour et al., 2004), et le rendement agricole (Zid et Grignon., 1991 ; Zhu., 2001).

Le monde perd en moyenne 10 hectares de terres cultivables par minute, dont au moins 3 ha de terres arables et ce à cause de la salinité du sol (Kovda, 1983 ; Iptrib, 2006). D'après l'institut National des Sols, de l'irrigation et du Drainage, le problème de la salinité des sols en Algérie touche une grande partie des terres agricoles et l'environnement avec des degrés différents.

Les eaux de la nappe phréatique de la région de la basse vallée de Ouargla ont fait l'objet de plusieurs études antérieures pluridisciplinaires du fait des problèmes que présentent les eaux

de cette nappe superficielle ; remontées spectaculaires de son niveau piézométrique, la minéralisation et salinisation excessive de ces eaux et leurs impacts sur l'homme et l'environnement.

Les sols de la région d'Ouargla, sont parmi les sols affectés par les sels. Cette salinité est due à de multiples facteurs: l'aridité du climat, l'importance de l'évapotranspiration la remontée de la nappe phréatique qui nécessite une bonne gestion de l'irrigation-drainage etc. (Djihed, 2017). Ainsi, l'objectif de ce travail est de déterminer l'évolution de la salinité du sol et de la nappe phréatique en fonction du temps en se basant sur les résultats des études antérieurs et sur nos résultats et voir aussi l'évolution dans l'espace et mettre en évidence les causes de cette évolution dans la cuvette d'Ouargla.

Pour atteindre cet objectif, nous avons développé les chapitres suivants :

**Chapitre I-** Généralité : est consacré à tous ce qui concerne la salinisation du sol et de la nappe. Ce chapitre comporte deux parties principales. Dans la première partie, nous avons présenté la salinisation du sol (origine, types et causes de la salinisation, ...) et la classification du sol salée et dans la deuxième partie la salinisation de la nappe (origine et son mécanisme naturel...)

**Chapitre II-** Présentation de la zone d'étude : Dans ce chapitre ; nous avons présenté un aperçu sur le cadre physique de la zone d'étude en particulier la situation géographique, la géomorphologie, le contexte géologique, l'occupation du sol et l'hydrogéologie régionale.

**Chapitre III-** Climatologie de la région d'étude : Dans ce chapitre ; nous avons présenté les principaux paramètres climatiques de la région d'étude.

**Chapitre IV-** Matériel et Méthodes : Dans ce chapitre ; nous avons présenté la méthodologie du travail ainsi que les matériels utilisés pour réaliser cette étude.

**Chapitre V-** Résultats et Discussion : C'est la partie principale de ce travail qui est surtout consacrée à l'interprétation et la discussion des résultats des mesures et des calculs effectués.

Et enfin, une conclusion générale, présentant les principaux résultats obtenus une proposition des recommandations et perspectives.

**Chapitre I :**

***Généralité***

## I.1 Définitions

La salinisation est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit une diminution des rendements, et à terme, une stérilisation du sol (Mermoud, 2006)

La salinisation des eaux consiste en une augmentation de la salinité des eaux douces de surface et souterraines. Résulte de l'intrusion d'eau salée suite au pompage d'eau de mer en puits et à la construction d'ouvrages aquacoles contenant de l'eau de mer en région côtière. Peut sérieusement affecter l'agriculture locale, en particulier les rizières.

(Dictionnaire Aqua Portail)

## I.2- Salinisation du sol

### I.2.1- Origine de la salinisation du sol

Les facteurs les plus importants responsables du phénomène de salinisation des sols sont souvent liés aux conditions climatiques, la géomorphologie, la topographie et l'hydrologie de terrain, les caractéristiques physico-chimiques du sol, les techniques d'aménagement des sols et des eaux, de la qualité de l'eau appliquée, la profondeur et la qualité de l'eau de la nappe (Lamsal et al, 1999).

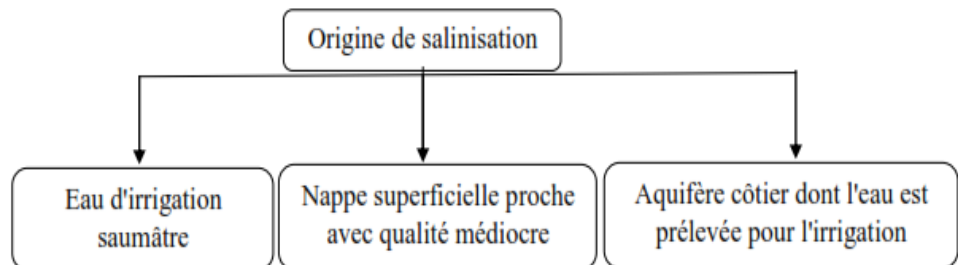


Fig. I-1 : Origine de la salinisation du sol (IPTRID, FAO, CISEAU, 2006).

### I.2.2- Types de Salinisation

Selon que la salinisation est d'origine endogène ou exogène, on distingue deux types de salinisation des terres agricoles, une salinisation primaire et une salinisation secondaire

#### I.2.2.1- Salinisation primaire ou naturelle :

La salinisation primaire due aux sels formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels extrêmes :

1. Dans les régions côtières, intrusion d'eau salée ou submersion des terres basses ;
2. Inondations périodiques par de l'eau de mauvaise qualité ;

Selon Szabolcs (1989) et d'après la FAO, la superficie totale concernée par cette salinisation primaire est proche de mille millions d'hectares, soit près de 5 % de la surface du globe.



**I.2.2.2- Salinisation secondaire :**

La salinisation d'origine secondaire est induite par l'activité humaine, liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées.

Les causes principales de cette salinisation secondaire des sols sont :

1. Utilisation d'une eau d'irrigation de qualité médiocre et lessivage naturel insuffisant ;
2. Remontée de la nappe souterraine à proximité de la surface et transport de sels par remontées capillaires (Marc, 2001)

**I.2.3- Les causes de la salinisation**

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturales sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation (Ashraf et Foolad, 2007).

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures (Denden et al., 2005).

L'eau saline occupe 71% de la surface de la terre. Environ la moitié des systèmes d'irrigation existant du monde sont sous l'influence de la salinisation. De tels sols défavorables, de faible fertilité sont généralement peu convenables pour la production agricole, entraînant la réduction inacceptable de rendements. En raison du besoin accru de distribution de la production alimentaire et de l'augmentation des sols affectés par la salinité (HAMMIA Imane 2012)

**I.2.4- Les processus et mécanismes géochimiques de la salinisation des sols :**

Le sol est un système hétérogène car il comporte plusieurs phases qui réagissent par leur surface de contact. Les réactions géochimiques sont des réactions entre solution et phase solide. Trois réactions de changement de phase qui peuvent contribuer au mécanisme de salinisation : les réactions de précipitation-dissolution de minéraux, les réactions d'échanges cationiques et les réactions d'oxydo-réduction (CONDOM, 2000 )

**I.2.4.1- Nature des processus géochimiques dans le cas des sols salés :****I.2.4.1.1- Précipitation-dissolution des minéraux dans les sols salés :**

Dans les sols, lors de la concentration des eaux, des minéraux sont susceptibles de précipiter ce qui modifie la composition des solutions. Les précipités les plus communs sont : la calcite,

la silice amorphe, le gypse et les minéraux argileux contribuant principalement au contrôle du magnésium et du potassium (Appelo & Postma, 1993).

Dans les bassins alluvionnaires du Niger (N'Diaye, 1987 ; Valles et al., 1989 ; Barberio & Valles, 1992 ; Marlet et al., 1996), du Sénégal (Boivin et al., 1998) ou de l'Indus (Condom et al., 1999) et au Mali (Valles et al., 1989), il a été montré que les solutions pouvaient être, selon les cas, contrôlées par la précipitation de calcite, de trôna, de gypse et de silicate magnésien proche de la sépiolite et d'illite. Lorsque la solution se concentre, la calcite et la sépiolite précipitent, contribuant au contrôle de l'alcalinité et des molarités en calcium et magnésium qui ne peuvent augmenter simultanément. Rappelons que l'alcalinité se définit comme la somme des cations pouvant accepter des protons (Bourrié, 1975). Dans les milieux alcalins, l'alcalinité peut se réduire à l'alcalinité carbonatée (Valles, 1985). Dans une solution, elle se calcule alors classiquement par différence, exprimée en équivalents, des cations et des anions non carbonatés.

Lors du phénomène de concentration de la solution, si la somme des équivalents de calcium et magnésium est supérieure à l'alcalinité dans la solution de départ, l'alcalinité décroît et les molarités en calcium et magnésium augmentent à un rythme inférieur à celui du facteur de concentration. L'évolution chimique qui en découle correspond à la voie saline neutre de la salinisation (Cheverry, 1974; Servant, 1986). Dans une situation inverse, l'alcalinité augmente et les molarités en calcium et magnésium diminuent. L'évolution ultérieure du sol suit alors la voie alcaline de la salinisation ou alcalinisation. Pour prédire l'évolution de la composition chimique d'une solution, le concept d'alcalinité résiduelle (Van Beek & Van Breemen, 1973; Al Droubi et al., 1978) est utilisé. L'alcalinité résiduelle est calculée en soustrayant à l'alcalinité les équivalents de cations et en additionnant les équivalents d'anions qui sont impliqués dans les précipitations. Appliqué habituellement à la précipitation de calcite et de sépiolite, ce concept est équivalent à celui de Résiduel Sodium Carbonates (RSC) qui se définit comme :

$$\text{RSC} = \text{alcalinité} - (\text{Ca}^{+2}) - (\text{Mg}^{+2})$$

Avec,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , les concentrations de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{eq.l}^{-1}$ )

L'impact des processus de précipitation-dissolution de minéraux est majeur dans le cas de l'évolution de sols soumis à de fortes concentrations, autant du point de vue quantitatif (modification des concentrations d'éléments en solution) que qualitatif (évolution vers un faciès salé neutre ou alcalin). L'alcalinité résiduelle, invariante au regard de la précipitation

des minéraux qui contribuent au contrôle de l'alcalinité, est donc un indicateur clef pour déterminer la voie de salinisation. (CONDOM, 2000 )

#### **I.2.4.1.2- Les échanges cationiques :**

##### **I.2.4.1.2.1- Echanges cationiques dans les sols salés :**

Dans les sols, les quantités de cations adsorbées, même pour les sols dont la capacité d'échange cationique (CEC) est faible, sont très importantes au regard de celles qui sont en solution. Une faible variation de la composition du complexe d'échange peut considérablement modifier les proportions relatives de cations en solution. Ce pouvoir tampon confère aux processus d'échanges cationiques un rôle majeur dans l'évolution des caractéristiques chimiques du sol.

Dans un processus de concentration tel qu'il a été décrit précédemment le sodium, qui n'intervient pas dans la précipitation des minéraux, se concentre dans la solution et est adsorbé sur le complexe d'échange au détriment du calcium, magnésium ou potassium. Cela conduit à la sodisation du sol. On apprécie le niveau de sodicité d'un sol par le pourcentage de sodium échangeable (ESP). Lorsqu'un sol sodique est mis en contact avec une solution peu concentrée, des phénomènes d'explosion des agrégats (Abu-Sharar et al., 1987) et de dispersion (McNeal & Coleman, 1966) des argiles interviennent, altérant durablement les propriétés physiques et hydrodynamiques du sol. L'induration (So & Aylmore, 1993) des sols ou la formation de croûtes superficielles (Sumner, 1993 ; Hoogemoed, 1994) en sont les manifestations macroscopiques. (CONDOM, 2000 )

##### **I.2.4.1.3- Les processus d'oxydo-réduction :**

La libération d'électrons dans le milieu s'accompagne généralement de celle de protons. Les réactions d'oxydo-réduction ont donc un impact sur le pH du milieu. Cette propriété est importante à noter dans le cas de l'étude de sol alcalin car cela influe directement sur les balances alcalines et donc sur les autres processus géochimiques (précipitation-dissolution de minéraux).

#### **I.2.5- Signes de la salinisation :**

Il est possible de repérer les sols salinisés avant que le problème ne soit grave, dont voici quelques signes précurseurs :

- Hydratation accrue des sols.
- Apparition des mauvaises herbes tolérantes aux sels, telle que le Kochiascoparia.
- Croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plants.
- Formation d'une croûte blanche en surface.

- Croissance de la végétation naturelle tolérante aux sels, comme les salicornes (EILERS et al., 1995 in YOUCEFI, 2011)

### **I.2.6- Classification des sols salés**

Il existe plusieurs classifications des sols dans le monde. La classification américaine, française, russe et celle de la FAO (1975). Parmi ces classifications, celle proposée par (U.S.S.L, 1954), et aussi celle proposée par (Duchaufour, 1977 et Cherbuy, 1991) qui voient en ces sols, trois grandes classes :

- Sols salins
- Sols salins à alcalins
- Sols alcalins

**I.2.6.1- Sols salins :** ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 dS/m, un pH inférieur à 8,5 et un pourcentage de sodium échangeable inférieur à 15%. Selon (Hullin, 1983).

Ces sols présentent aussi une perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaires non salés. Cela est dû à l'action flocculant des sels (Daoud, 1993). Ces sols pauvres en Na, mais riches en sels blancs (chlorures, sulfates, carbonates de Ca ou Mg) ; généralement à l'état flocculé, lessivage efficace (Mermoud, 2006).

**I.2.6.2- Sols salins à alcalins :** ils sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 dS/m et un pH supérieur à 8,5. Par définition ce sont des sols qui contiennent suffisamment de sels solubles et de sodium échangeable supérieur à 15% (Hullin, 1983). D'après (Daoud, 1993), la perméabilité de ces sols dépend du rapport entre CE-ESP, de la teneur et de la nature de la fraction argileuse des sols.

La structure de ces sols généralement bonne mais pouvant se dégrader considérablement lors du lessivage. Nécessité d'apports de cations de substitution (Mermoud, 2006).

**I.2.6.3- Sols alcalins :** ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation inférieur à 4 ds/m, un pH compris entre 8,5 et 10, un pourcentage de sodium échangeable supérieur à 15%. Selon (Hullin, 1983) ces sols contiennent suffisamment de sodium échangeable mais ils ne contiennent pas des quantités excessives de sels solubles. D'après (Daoud, 1993), ses sols présentent une faible perméabilité.

Ces sols sont riches en Na. Foncés en raison de forte concentration en Na et de la dispersion de la MO. Sols dispersés : lessivage difficile et nécessité de remplacer le Na par un autre cation (Ca par ex) (Mermoud, 2006).

### **I.2.7- Salinité de sol dans le monde**

La salinité des sols est présente dans la plupart des grands systèmes d'irrigation à travers le monde sous l'effet conjugué d'une mauvaise qualité des eaux d'irrigation, de l'aridité et d'un drainage insuffisant du sol et des aquifères (Marlet et al, 2005). Les superficies irriguées ont connu un accroissement très rapide depuis 1950, elles atteignent aujourd'hui près de 300 millions d'hectares (Marlet et al, 2005). D'après Rhoades (1997), les évaluations indiquent que, selon les situations, de 15 à 50% des terres aménagées et environ 50% des systèmes d'irrigation seraient affectés par la salinité, plus particulièrement dans les zones arides (Marlet et al, 2005). Au Pakistan, plus de 25% des surfaces irriguées sont salinisées, en Tunisie 25%, aux USA 23%, en Inde près de 17%, en Chine près de 15% et en Afrique du Sud près de 9% (FAO, 2006).

### **I.2.8- Salinité de solen Algérie :**

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1983). Ils sont répartis dans les basses plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains Chotts comme Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et d'autres (DURAND, 1983). D'après HALITIM (1988), dans les régions arides, les sols salés représentent environ 25% de la surface cartographiée. Soit 3,2 millions d'hectares (HAMDY, 1995).

Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (DJILI et DAOUD, 1999)

## **I.3- Salinisation de la nappe**

### **I.3.1- Origine de la salinisation de la nappe**

#### **I.3.1.1- Source de salinité naturelle**

Le cycle de la salinité dans les eaux continentales (Fig. I-2) peut être subdivisé en deux grands domaines, le domaine "marin" lié directement ou indirectement à l'eau de mer, et le domaine continental (interactions eaux-roches) pour lequel les sels dissous sont issus essentiellement de l'interaction avec des roches sédimentaires (hors évaporites marines) et cristallines et concentrées par l'évaporation. Dans le domaine « marin » la salinité résulte de la présence d'aérosols marins dans les précipitations qui, après évaporation partielle, vont s'infiltrer dans les aquifères. La salinité peut être associée également à une intrusion directe de l'eau de mer dans les aquifères côtiers. La présence des eaux de mer n'est pourtant pas limitée au littoral. En effet, des transgressions marines ont pu engendrer, dans le passé, à l'échelle de

temps géologique, des infiltrations d'eau de mer bien au-delà de la ligne de côte actuelle. Les eaux marines syngénétiques des sédiments marins peuvent également être préservées au sein même de ces sédiments (« eaux connées ») L'évaporation de l'eau de mer donne lieu à la formation de saumures sédimentaires, dites « primaires », et peut conduire au dépôt de roches évaporitiques. Ces dernières, lorsqu'elles sont traversées par des eaux souterraines ou de surface peuvent se dissoudre donnant naissance à des saumures dites « secondaires ». Des faibles proportions de ces saumures mélangées aux eaux souterraines suffisent pour induire une salinisation significative des nappes, pouvant impacter et compromettre certains usages. Les eaux de surface, initialement faiblement minéralisées, peuvent, par interaction avec les roches du bassin versant et par évaporation successive, devenir salines. Les concentrations en sel, peuvent augmenter jusqu'à la précipitation d'évaporites, notamment dans les zones arides ou semi-arides. Les lieux principaux de la formation de sels solides sont les sols agricoles irrigués et les bassins endoréiques où l'évaporation atteint ou excède l'influx d'eaux continentales. Une autre source de salinité, abondamment discutée dans la littérature sur l'hydrochimie des boucliers scandinaves et canadiens, est l'interaction avec des roches cristallines qui contiennent des inclusions fluides de taille microscopique mais souvent très concentrées en sels (Nordstrom et al., 1989). L'interaction avec ces roches est favorisée par des températures et pressions élevées (fluides hydrothermaux). Les gaz volcaniques, souvent riches en chlorures, soufre et autres composés, sont une autre source de salinité dans des secteurs d'activité tectonique et volcanique récente. (BRGM/RP-60186)

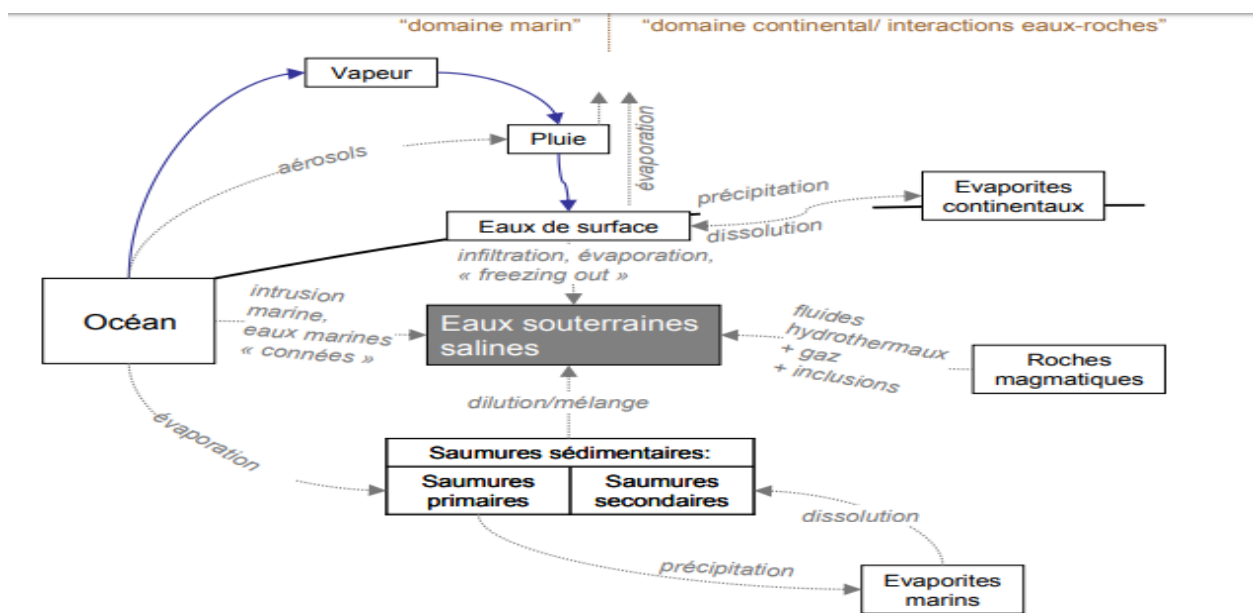


Fig. I-2 : Mécanisme naturel de salinisation des eaux surface et souterraine (BRGM/RP-60186)

**I.3.1.2- Sources de salinité anthropique**

Un certain nombre d'actions humaines se superpose à ce cycle naturel des sels et de l'eau. Ces actions ont tendance à renforcer certains mécanismes et donc à contribuer à la salinisation des nappes. L'exploitation des nappes par pompage génère en règle générale un changement du champ des flux qui peut engendrer des intrusions salines dans des aquifères côtiers (biseau salé) ou favoriser des échanges verticaux faisant remonter des eaux salines profondes (drainance). L'irrigation est un facteur majeur de la salinisation des sols et, en conséquence, des nappes dans les climats arides et semi-arides. Certaines activités produisent des flux riches en chlorures (eaux usées, exhaures miniers, drainage des routes soumises au salage hivernal, exploitation de fluides profonds à des fins géothermales, exploitation de la potasse, dessalement) ou des déchets solides qui à leur tour peuvent se dissoudre et contribuer à la salinisation des nappes. D'autres sources anthropiques de salinité peuvent jouer un rôle à l'échelle locale ou régionale, avec une pollution diffuse d'origine agricole, des impacts localisés de certaines stations d'épuration et le salage des routes. Les impacts potentiels du stockage de CO<sub>2</sub> dans les aquifères salins profonds sont actuellement à l'étude dans un certain nombre de projets de recherche. Un mécanisme potentiel consiste en le déplacement des saumures contenus dans ces aquifères vers des aquifères d'eau douce sous l'influence de l'injection du CO<sub>2</sub>. (**BRGM/RP-60186**).

## **Chapitre II :**

# ***Présentation de la zone d'étude***



**II.1- Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons présenter un aperçu sur le cadre physique de la zone d'étude en particulier la situation géographique, le contexte géologique, la géomorphologie, l'occupation du sol et un aperçu sur la ressource en eau dans la région d'étude.

**II.2- Situation géographique :**

La région d'Ouargla est située au Nord-Est du grand Sahara algérien, elle est située à 850 Km au sud de la capitale Alger. Elle est limitée, administrativement, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued au Nord, Illizi et Tamanrasset au Sud, par la Tunisie à l'Est et Ghardaïa à l'Ouest (Fig. II-1).

La ville de Ouargla est située dans une dépression connue sous le nom de « cuvette de Ouargla » cette dernière est limitée par Sebket Safioune au Nord, les ergs de Touil et Arifdji à l'Est, par les dunes de Sedrata au Sud et par le versant Est de la dorsale du M'Zab à l'Ouest. 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 : 710000 ; Y : 3530000 et X : 730000 ; Y : 3600000 sur une superficie de 140000hectares.

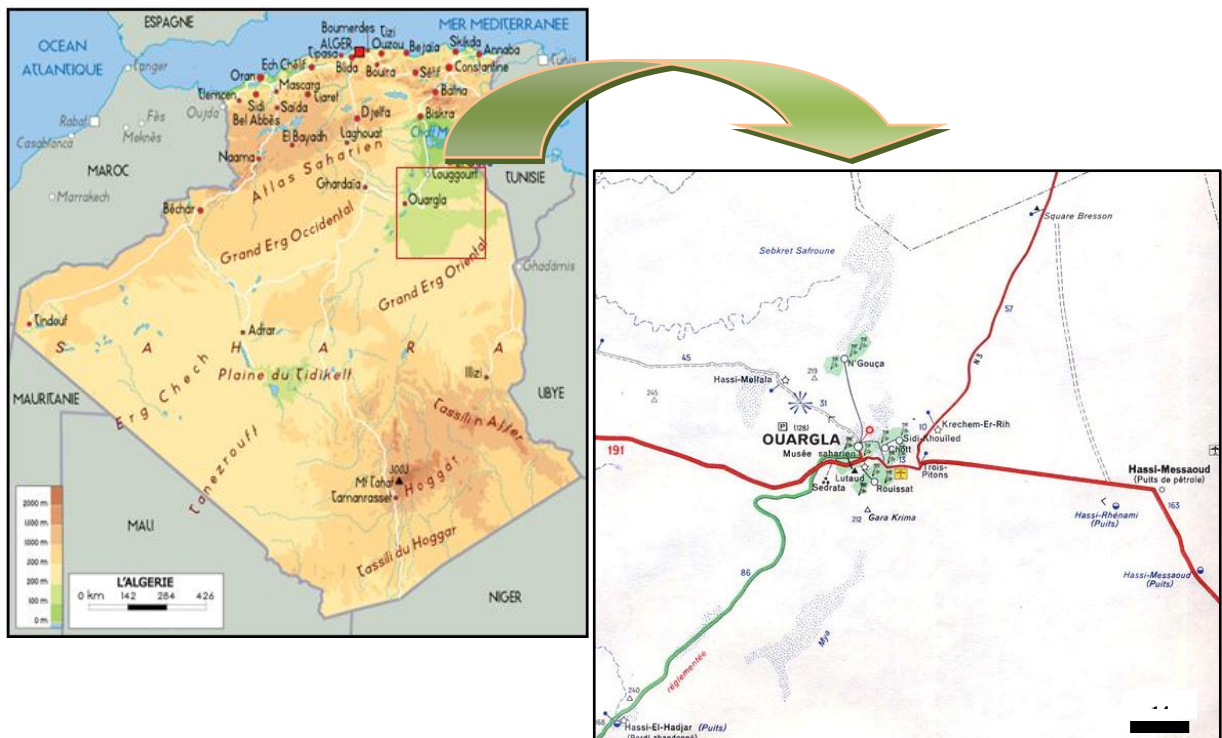


Fig. II-1: Carte de situation géographique de la zone d'étude

### II.3- Topographie et géomorphologie de la région :

D'après la carte de relief de la zone d'étude établie par le bureau d'étude BG (Fig. II-2), on remarque que la partie occidentale qui est la zone de grandes altitudes (323m - 435m) est traversée par les lits des Oued N'sa et Oued M'Zab vers le point le plus bas. En ce qui concerne la partie orientale, elle est à une hauteur qui varie entre 210 et 262m. Les faibles altitudes de 58 à 133m sont observées dans la partie centrale. Dans ce secteur de la région d'étude existe des sebkhas et chotts.

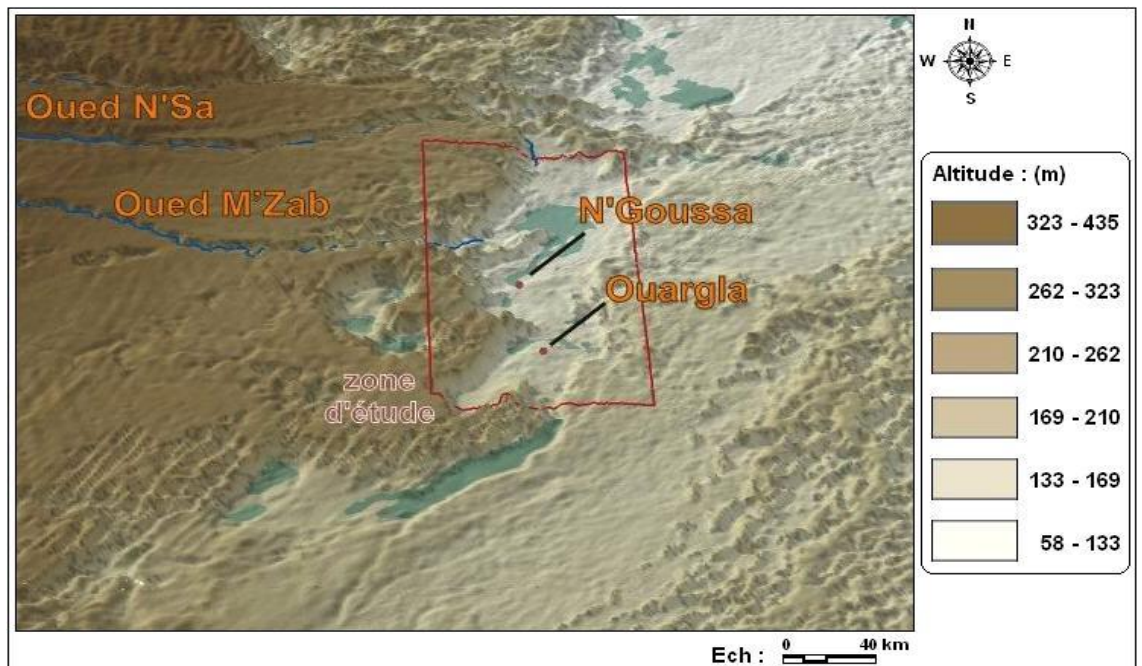


Fig. II-2 : Relief de la région de Ouargla (BG, 2004)

L'étude géomorphologique de la région permet de distinguer les paysages géomorphologiques suivants (Fig. II-3) :

La hamada Mio-Plio-Quaternaire qui se présente comme un plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses. C'est une formation continentale détritique dont l'altitude moyenne est de 200 m. Ce plateau s'abaisse légèrement d'Ouest en Est où il est très fortement érodé et ne laissant que quelques buttes témoins appelées "goure". (Bellaoueur. 2008)

- Les glacis sur les versants Ouest de la cuvette s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m d'altitude. Les glacis situés à 180 et 160 m se caractérisent par des affleurements du substrat gréseux du Mio-Pliocène. L'Est de la cuvette est un vaste glacis alluvial à sable grossier situé à 150 m d'altitude (Bellaoueur. 2008).

- Les sebkhas : marécages salés, le plus souvent asséchés, occupant le fond d'une dépression. Le chott (ou sebkha) constitue le point le plus bas. Il est constitué de sable siliceux et/ou gypseux à croûte gypseuse de surface et de sub-surface. Le bas fond se caractérise par une nappe phréatique permanente très peu profonde de 1 à 5 m (Bellaoueur. 2008).
- En aval de Ouargla, diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhet Safioune qui est à 103 m d'altitude point le plus bas de la région (Bellaoueur. 2008).

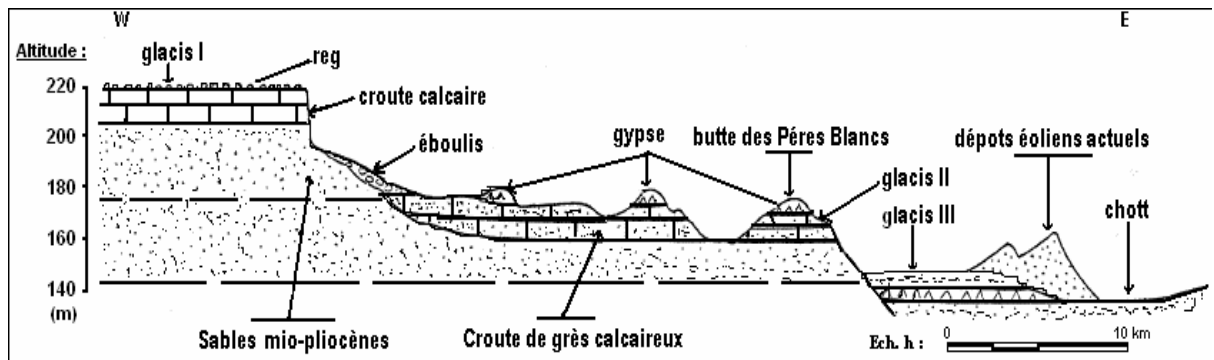


Fig. II-3 : Coupe géomorphologique schématique de la vallée de Ouargla

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

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

La cuvette est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, 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, calcédoine et évaporites. Des oueds, descendant de la dorsale «mzabite» à l'Ouest (oueds 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 l'Oued M'Zab) ou barrant la vallée (Oued N'Sa et Z'Gag au Nord de Sebkhet Safioune).

Avec la fin de la dernière grande période pluviale, le lac s'est retiré. L'Oued Mya n'a 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.

Les alluvions de Oued N'Sa ferment la vallée au Nord de Sebkhet Safioune, empêchant un écoulement vers l'aval. Cette fermeture s'est rompue dans sa partie Est et les eaux du lac ont pu s'échapper vers le N-E, en direction de Touggourt et du Chott Melrhir.

Actuellement, les plus grandes crues de l'Oued Mya s'arrêtent à 200 km à l'amont de Ouargla. Celles de l'Oued M'Zab atteignent Sebkhet Safioune deux fois par siècle, alors que celles de l'Oued N'Sa semblent plus fréquentes.

- Les travaux des archéologues confirment que la dépression de l'Oued Mya n'a été drainée par des cours d'eau qu'à une période très ancienne du Quaternaire et que les sebkhas n'étaient pas fonctionnelles à l'époque néolithique car certains gisements reposent sur elles. Les sebkhas sont apparues au cours d'une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand pluvial contemporain de la glaciation de Würm (Bellaoueur. 2008)

#### **II.4- Occupation du sol de la région d'Ouargla :**

L'observation de la carte d'occupation du sol (Fig. II-4) montre que les sables et les sols nus représentent la plus grande extension spatiale d'une surface de 3095ha contenant différents types de sables et sols nus (sols « clairs »).

Les Sebkhas occupent une surface globale de l'ordre de 2023 ha. Les superficies d'eau sont de 243 ha au niveau de la zone d'Ouargla et 1105 ha au niveau de la vallée d'Ouargla, 843 ha correspondant à Oum Raneb. La végétation est présente et représentée par palmeraies avec une surface de 2286 ha. Les palmeraies de la zone d'Ouargla représentent 72% de la palmeraie totale de la vallée.

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

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

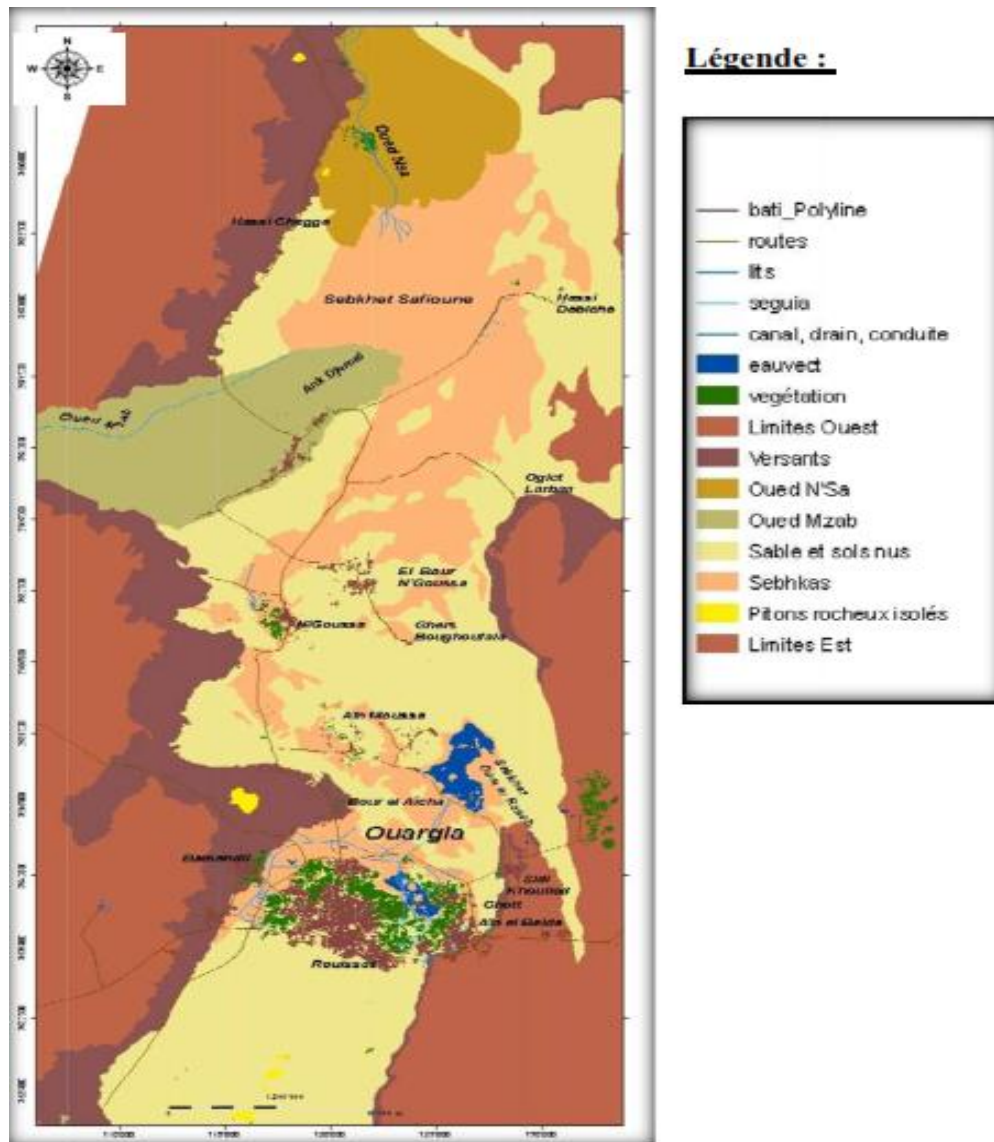


Fig. II-4 : Carte d'occupation du sol (BG 2004)

### II.5- Géologie de la zone d'étude :

La carte de reliefs géologiques (Fig. II-5) met en évidence les différentes formations géologiques de la région d'étude ; on observe que les dunes (sable) dominent la partie occidentale de la région avec présence de terrain sénono-éocène et mio-pliocène traversée par les alluvions des Oued N'sa et Oued M'Zab se dirigeant vers l'Est. Dans la partie orientale, on observe des formations mio-pliocènes avec un affleurement de terrain plio-Quaternaire. Les formations Quaternaires occupent la partie centrale de la région

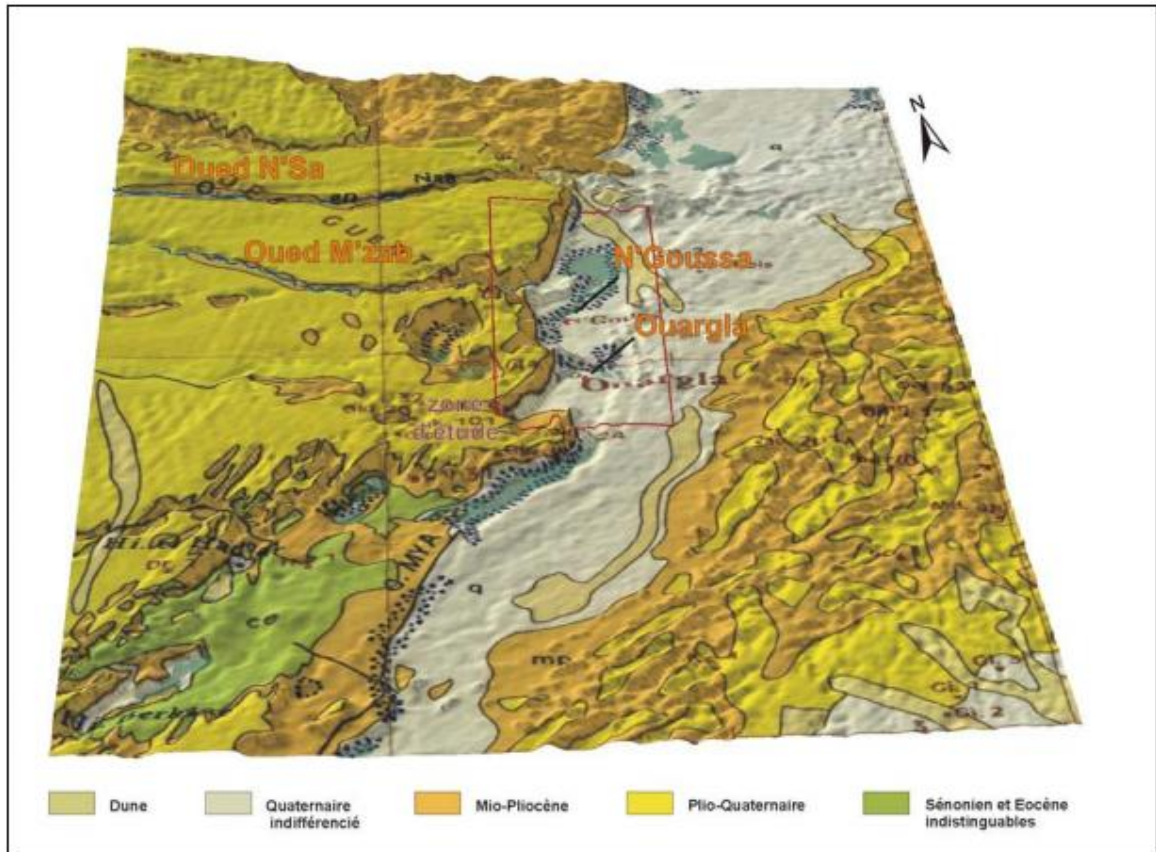


Fig. II-5 : Relief géologique de la région de Ouargla

## II.6- Stratigraphie :

La stratigraphie de la région d'Ouargla est caractérisée par plusieurs types des formations géologiques, allant du Précambrien au Quaternaire. Nous présentant ici la stratigraphie des formations géologiques ayant un intérêt hydrogéologique en particulier celles, allant du Mésozoïque au Quaternaire. D'après (Kilian, 1931 et Crna, 1991) ; la litho stratigraphie de Ouargla est composée de :

### II.6.1- Mésozoïque

#### II.6.1.1- Crétacé

##### - Barrémien

Il est à une profondeur de 1500 m environ. Le barrémien présente une alternance de grès et d'argile, avec des intercalations calcaire-dolomitiques.

##### -Aptien

Il est constitué par la "barre aptienne " dans la région d'Ouargla, qui est formée de marnes dolomitiques, gris verte, brunes ou blanches, et dolomies cristallines, son épaisseur est variable, elle est comprise entre 20 et 26 m. L'aptien est considéré comme imperméable dans son ensemble.

- Albien

Il correspond à la série lithologique supérieure du continental intercalaire, ce sont des grès, argiles et sables. L'épaisseur de ces formations est variable (>400 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants (70 à 90 %) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois des intercalations de sables grossiers à limons argileux ou carbonatés. On note des passées d'argiles brun-rougeâtres, elles sont même pélitiques et sableuses dans les puits les plus septentrionaux :

- Vraconien

L'intercalation albo-vraconienne caractérise une épisode dolomitique remarquable entre les grès albiens et les argiles cénomaniennes, il est formé de dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux, les épaisseurs y sont inférieures à 100 m. Les argiles, les marnes dolomitiques et des éléments détritiques sont aussi rencontrés.

- Céno-manien

Il est formé de deux séries (inférieure et supérieure) :

-La série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brune-rougeâtre ou gris-verdâtre, son épaisseur varie entre 65 et 80 m.

-La série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite, de quelques intercalations dolomitiques, et de passées de sel gemme, son épaisseur est de l'ordre de 70 m.

-Turonien

Il se présente sous forme d'une dalle ayant une épaisseur régulière "barre turonienne", il est de l'ordre de 73 m. Il s'agit d'une série essentiellement calcaire : calcaire poreux blanc, parfois grisâtre, pulvérulent, quelquefois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique.

- Sénonien lagunaire

Il est constitué par une alternance régulière de bancs d'anhydrite (quelques mètres d'épaisseur), de dolomie dont l'épaisseur varie de 10 à 15m, des argiles et de sel avec une épaisseur de 1 à 2m.

- Sénonien carbonaté

Le Sénonien-carbonaté est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 à 200 m. Il s'agit des calcaires dolomitiques cristallins ou microcristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux.

## **II.6.2- Cénozoïque**

### **II.6.2.1- Néogène (Mio-pliocène)**

Il correspond au continental terminal, il est constitué par puissant ensemble de sables et d'argiles, qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénon-éocène. On distingue quatre niveaux différents, qui sont de bas en haut:

- un dépôt argileux peu épais (< 10 m) recouvrant dans la partie centrale de la cuvette et suivant une bande nord-sud le sénono-éocène.
- un niveau gréseux sableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais (> 30 m) et le plus constant.
- un niveau argilo-sableux dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche n'apparaît que dans certains endroits.
- un niveau très épais (≈30 m) dans la zone des chotts, à sommet affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux.

### **II.6.3- Quaternaire**

À la base du quaternaire, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Ce niveau met en charge les aquifères du mio-pliocène à Ouargla. Le niveau le plus superficiel est constitué de sable éolien parfois gypseux et des produits de remaniement des terrains mio-pliocène. Les nappes phréatiques sont généralement contenues dans ce dernier niveau. Les sondages superficiels (profondeur moins de 30 m) effectuées dans différentes localités de la cuvette, ont permis de rencontrer les ensembles suivants :

-Sur le plateau, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération du grès à sable rouge du Mio-pliocène, c'est le sol le plus pauvre en gypse dans la région. A 10 m de profondeur, il ne présente aucun niveau d'encroûtement. En surface, entre 20 et 70 cm de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers.

-Sur les chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de sebkas



associées à une végétation gypso halophiles. De 10 à 20 cm de profondeur on trouve encroûtement gypseux pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. Plus en dessous un tuf présente une teneur de gypse décroissante.

Les Sebkhass sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.

Les dunes sont du sable éolien d'origine gréseux provenant de la Hamada Mio-pliocène. Elles existent dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhass et sur les versants rocheux.

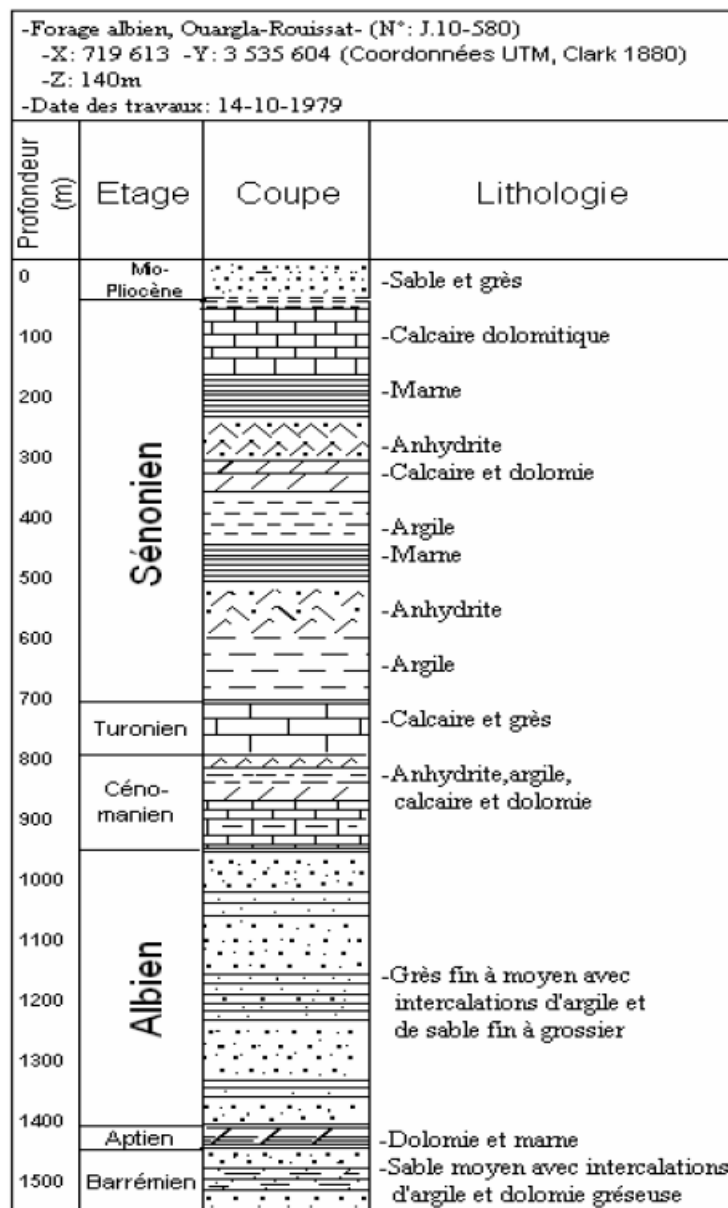


Fig. II-6 : Colonne stratigraphique d'un forage captant le CI dans la région de Ouargla

**II.7- Aperçu sur la ressource en eau dans la région :**

Les ressources en eaux souterraines dans le Sahara Septentrional sont représentées par deux Grands systèmes aquifères superposés : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) surmontés dans plupart des régions par des nappes superficielles

La formation du Continental Intercalaire qui s'étend sur une superficie de 700 000km<sup>2</sup>est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multi couches dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. A Ouargla, il est exploité entre 1150 m et 1350 m de profondeur.

Le Complexe Terminal d'une superficie de 350000km<sup>2</sup>regroupe plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes et font partie d'un même ensemble hydraulique.

Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Mio-Pliocène sont évidentes sur l'ensemble du bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler.

La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien inférieur. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-Pliocène sur la bordure du bassin.

Pour le Complexe terminal à Ouargla le Mio-pliocène affleure et le Sénonien carbonaté peut atteindre au niveau de certains forage 200m

La nappe phréatique à Ouargla est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. Elle est présente partout à l'échelle de la région à des profondeurs très rapprochées de la surface du sol. Elle affleure souvent à la surface du sol sous forme de petits chotts qu'on trouve de part et d'autre de la ville de Ouargla .

La région d'Ouargla a fait l'objet de plusieurs études géologiques et hydrogéologiques. Ces études ont montrés que l'état des eaux se présente comme suit :

- Les eaux destinées à l'AEP ne répondent pas aux normes de potabilité notamment en ce qui concerne la minéralisation
- Une dégradation de la qualité des eaux du Mio-pliocène (salinité)
- Les eaux de la nappe phréatique présentent une forte salinité dépassant 15 g/l en plus d'une contamination de cette nappe par les eaux usées
- Remontée de la nappe

## **II.8- Conclusion**

La Wilaya d'Ouargla est localisée au Nord-Est du Sahara septentrional. La région d'étude occupe le fond d'une cuvette dans la basse vallée de l'oued Mya et s'étend sur une superficie totale de l'ordre de 95000 Ha suivant une orientation Sud-Ouest / Nord-Est. La surface topographique montre les formes géomorphologiques suivantes : la hamada, les glacis et les sebkhas.

Dans la région d'Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôt quaternaire (ergs, dunes). Les logs stratigraphiques des forages d'eau, montre que l'existence des terrains sédimentaires allant du Crétacé au Quaternaire. La lithologie des formations est détritique, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé inférieur.

**Chapitre III :**  
***Climatologie de la région***  
***d'étude***

### III.1- Introduction :

Le climat de la région d'étude est de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, et un hiver court et très doux, par une faible pluviométrie et une forte évaporation.

Les paramètres hydro-climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout sur le bilan hydrique des aquifères.

Notre étude a été réalisée à la base des données mesurées à la station de Ouargla (ONM) pour une période de vingt et un ans (1996-2017).

Tableau. III-01 : Coordonnées de la station météo de Ouargla

Station	Latitude	Longitude	Altitude
Ouargla	31° 57' 17"	05° 19' 22"	136

### III.2- Facteurs climatiques :

#### III.2.1- La précipitation :

Les précipitations sont les eaux qui tombent sur la surface de la Terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) ou déposée (rosée, gelée, givre, ...) (André Musy 2005)

Le Tableau. III-02 représente les précipitations moyennes mensuelles de la station de Ouargla au cours de la période (1996/2017).

Tableau. III-02 : Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2017)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Ann
<b>P</b>													
<b>Moy</b>	3.61	6.50	5.48	3.01	7.23	2.33	4.65	1.66	3.47	0.44	0.23	1.02	39.6

D'après la représentation graphique de la variation des précipitations au cours de l'année (Fig. III-1) on remarque que le maximum est de 7.23mm enregistré au mois de Janvier et le minimum de 0.44 mm et 0.23 mm observés respectivement aux mois de Juin et Juillet. Le taux annuel de la précipitation est de l'ordre de 39.6mm.

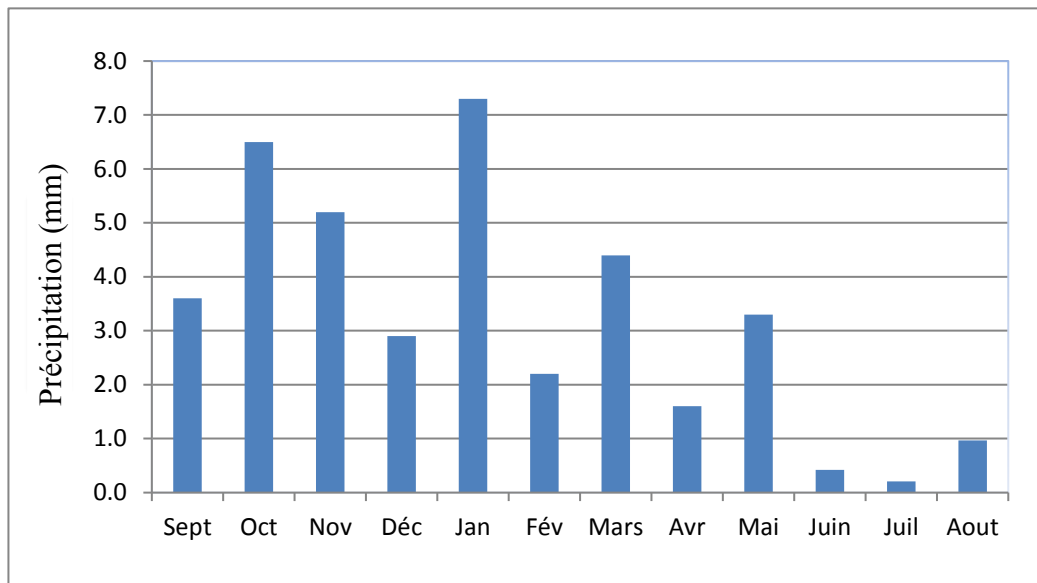


Fig. III-1 : Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2017)

**III.2.2 - Température :**

La température est considérée comme une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. La température est la manifestation, à l'échelle macroscopique, du mouvement des atomes et molécules. Elle est mesurée avec un thermomètre. (GLOBE 2014)

Le Tableau. III-03 représente les températures moyennes des minima, des maxima et la moyenne. Les données à partir desquelles ont été calculées ces moyennes ont été obtenues au niveau de l'ONM de Ouargla.

Tableau. III-03 : Moyennes mensuelles de la température (ONM de Ouargla, 1996-2017)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annu
<b>T MoyMin</b>	23,2	17,2	10,1	5,9	4,7	6,4	10,2	14,8	20	24,7	27,7	27,4	16,03
<b>T MoyMax</b>	38	32,1	24,4	19,6	19,2	21,2	25,9	30,8	35,7	40,6	43,8	42,9	31,18
<b>T Moy</b>	30,6	24,65	17,25	12,75	11,95	13,8	18,05	22,8	27,85	32,65	35,75	35,15	23,52

La région d'Ouargla est caractérisée par un climat saharien hyper-aride, les températures sont très élevées en été. La représentation graphique des températures (Fig. III-2) montre que la moyenne des mois les plus chauds Juillet et Aout atteint respectivement 43,8 et 42,9°C et celle du mois le plus froid Janvier est de 4,7°C. La température moyenne annuelle est de 23,52°C

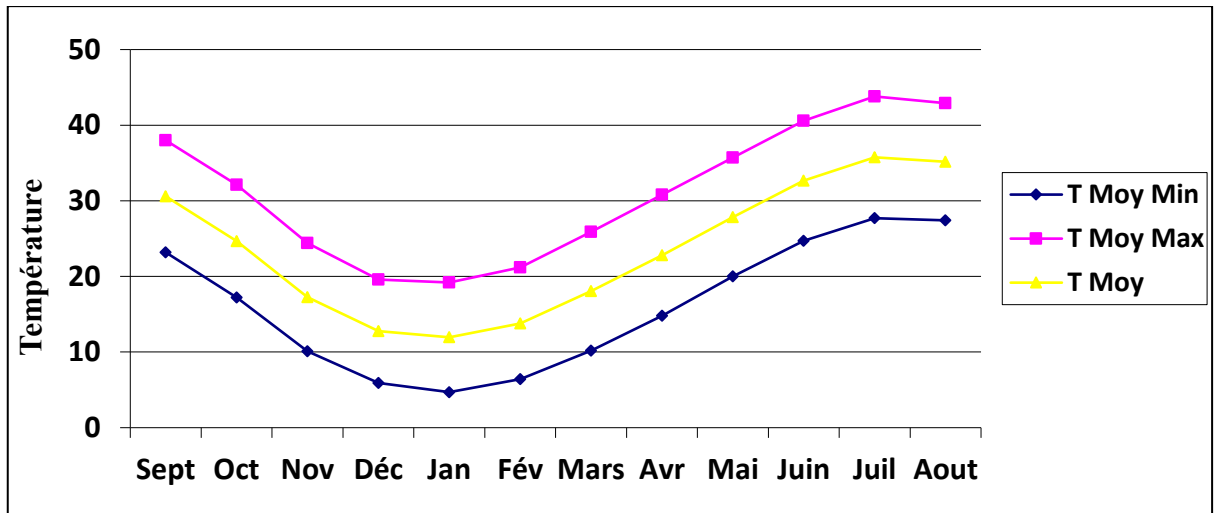


Fig. III-2 : Température moyenne mensuelle dans la région d'Ouargla (1996-2017)

**a. Diagramme ombrothermique :**

On l'appelle aussi la courbe pluviothermique, il est la combinaison des facteurs thermique et pluviométrique selon la relation  $P \text{ (mm)} = 2T \text{ (}^\circ\text{C)}$ . Il permet de déterminer les saisons sèche et humide.

Sur le digramme établis (Fig. III-3), on remarque que la zone d'étude connaît une très faible précipitation durant les années et que la saison sèche s'étend sur toute l'année.

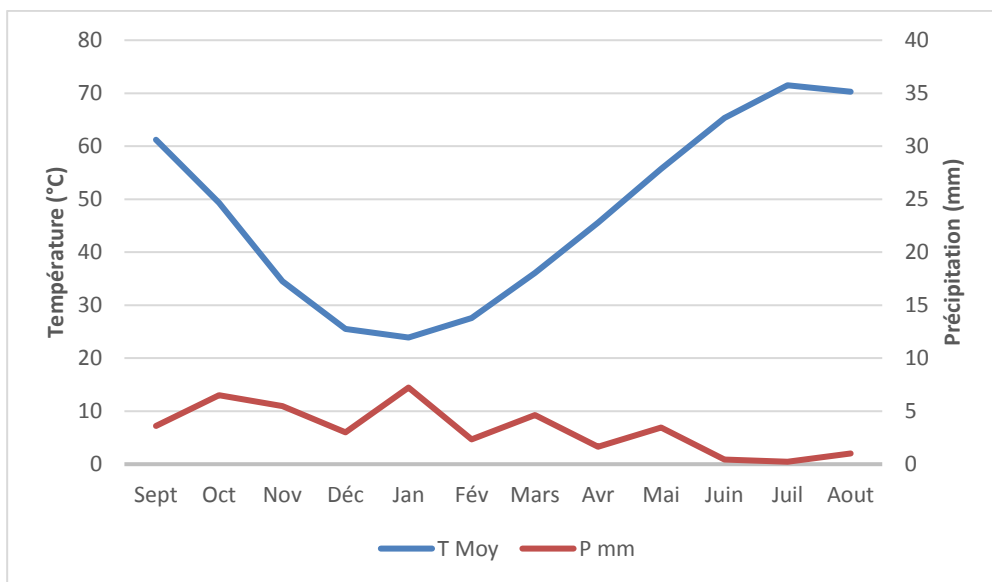


Fig. III-3: Courbe ombrothermique de la région de Ouargla(1996-2017)

**Indice d'aridité :**

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

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

I : Indice d'aridité □

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

P = 39.64 mm ; T = 23,52 °C

Donc : **I = 1,18**

Sur la base de la classification de l'indice d'aridité donnée par De Martone, nous pouvons déterminer le type de climat de notre région d'étude.

Valeur de I	Type de climat
0 à 5	hyper -aride
5 à 10	aride
10 à 20	Semi-aride
20 à 30	Semi-humide
30 à 55	humide

D'après cette classification, notre région d'étude est caractérisée par un climat hyper aride.

**III.2.3-L'humidité de l'air :**

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative. L'humidité relative joue un rôle sur la formation du brouillard et la rosée (GLOBE 2014). L'humidité est généralement mesurée par un appareil appelé hygromètre

Tableau. III-04 : Humidité moyenne mensuelle (%), (ONM de Ouargla, 1996-2017)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Ann
H moy (%)	38,9	46,3	54,9	60,5	59,6	51,6	44,7	38,2	33,8	28,7	25,6	28,9	42,6



L'humidité est faible au cours de l'année, elle est en moyenne de 60.5% au maximum au mois de Décembre (Tableau. III-04) et de 25.6% au minimum au mois de Juillet. La moyenne annuelle de l'humidité dans notre région d'étude est de 42.6%.

**III.2.4- Le vent :**

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements de l'air. Il naît de la différence de pression entre deux masses d'air. Le vent se déplace des hautes pressions (anticyclones) vers les basses pressions (dépressions), (GLOBE 2014).

Nous pouvons dire que le vent c'est le paramètre climatique le plus régulier dans la région de Ouargla. Il est déterminé par sa direction et sa vitesse.

Le tableau ci-dessous représente les mesures de la vitesse maximale moyenne du vent dans la région d'étude.

Tableau. III-05 : Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent (ONM de Ouargla, 1996-2017)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jui	Juil	A
Vitesse Moy Max (km/h)	57,7	50,4	48,6	44,5	53,7	54,7	58,2	69,8	67,1	54,3	60,9	57,5

On remarque que les vents les plus forts se produisent durant les mois d'Avril et Mai avec respectivement des vitesses de 69.8km/h et 67,1km/h.

**III.2.5- L'insolation :**

L'insolation signifie la quantité d'énergie solaire reçue, mais aussi peut être synonyme d'ensoleillement, c'est-à-dire la durée d'exposition d'un site au Soleil. La wilaya d'Ouargla reçoit une quantité de lumière solaire très forte

Tableau. III-06 : Insolation mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2017)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Ju	A	Ann
Insolation (Heure)	261,1	264,2	242,2	214,4	245,4	240	274,1	282,8	296,8	274,2	331,6	328,4	271,3

On remarque que le maximum est atteint au mois de Juillet avec une durée moyenne de 331.27 heures/mois, et le minimum est enregistré au mois de Décembre avec une durée moyenne de 214.4 heures/mois.

### III.2.6- Evaporation et évapotranspiration :

#### III.2.6.1- Evaporation :

L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux vers l'atmosphère. Il est le seul mécanisme de perte des eaux au Sahara, ou dans les bassins arides fermés

Le Tableau. III-07 représente l'évaporation moyenne mensuelle et les données à partir desquelles ont été calculées ces moyennes ont été obtenues au niveau de l'ONM de Ouargla

Tableau. III-07 : Evaporation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2017)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Ann
Evaporation (mm)	303,1	223,6	131,3	92,9	94,7	130,8	202,7	261,9	340	402,2	454,1	420,8	3058,3

L'évaporation dans la vallée d'Ouargla est très élevée, nous constatons que la valeur maximale d'évaporation est de 454.1mm au mois de Juillet, et la valeur minimale est de l'ordre de 92.9 mm au mois de Décembre. Le taux annuel de l'évaporation est de l'ordre de 3058.3mm/an

#### III.2.6.2- L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation et de transpiration. Le principal facteur qui réagit l'évaporation est la radiation solaire. Le terme évapotranspiration englobe deux types d'évapotranspiration l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR)

##### III.2.6.2.1- L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, et pendant une période donnée. Pour l'estimation de l'ETP dans notre région d'étude, nous avons fait recours aux formules de Thornthwaite et de Turc

##### a) Formule de Thornthwaite :

L'évapotranspiration potentielle a été calculée par la formule de Thornthwaite(1948), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station. Elle est donnée par l'expression suivante :

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

Avec :

**ETP**: évapotranspiration potentielle du mois en (mm)

**T**: température moyenne mensuelle de la période en (°C).

**I**: indice thermique annuelle qui représente la somme des indices mensuelle **i**.

**k**: coefficient d'ajustement mensuelle lié à la latitude.

$$a = \frac{1,6}{100} \times I + 0,5$$

a= 2,56

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ avec : } i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,5}$$

Tableau. III-08 : Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (période 1996-2017)

Mois \ Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Juin	Juil	A	Ann
<b>P (mm)</b>	3.61	6.50	5.48	3.01	7.23	2.33	4.65	1.66	3.47	0.44	0.23	1.02	39.6
<b>T (°C)</b>	30,6	24,65	17,25	12,75	11,95	13,8	18,05	22,8	27,85	32,65	35,75	35,15	23,52
<b>I</b>	15,14	10,95	6,41	4,07	3,69	4,59	6,86	9,74	13,15	16,69	19,12	18,64	129,03
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
<b>ETP (mm)</b>	150,33	81,39	28,94	12,57	11,44	16,15	38,92	75,59	138,77	210,21	269,50	241,42	1275,22

**b) Formule de Turc :**

La formule de Turc ne nécessite que la connaissance des températures de l'air et de la radiation globale ou de la durée d'insolation. Cette formule est la suivante :

$$ETP = 0,4 \times \frac{t}{(t + 15)} \times [Ig + 50] \times k$$

Avec :

**ETP** : évapotranspiration potentielle mensuelle (en mm).

**T** : température moyenne mensuelle de l'air (en °C).

**Ig** : radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (en calorie/cm<sup>2</sup>/jour)

**k** : un coefficient égal à 1 si l'humidité relative "Hr" est supérieure ou égal à 50 %.

Sinon:

$$k = 1 + \frac{50 - Hr}{70}$$

Si la radiation globale "Ig" n'est pas mesurée, on pourra l'évaluer à partir de la durée d'insolation "h" par la formule :

$$Ig = IgA \times [0,18 + 0,62 \times (\frac{h}{H})]$$

Avec :

**IgA** : radiation globale théorique (en cal/cm<sup>2</sup>/jour);

**H** : durée astronomique du jour (en heure).

Tableau. III-09 : Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (période1996-2017)

mois Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
<b>T moy (°C)</b>	30,6	24,65	17,25	12,75	11,95	13,8	18,05	22,8	27,85	32,65	35,75	35,15	23,52
<b>IgA (cal/cm<sup>2</sup>/jr)</b>	839,22	700,77	562,32	499,48	541,02	664,56	813,66	937,2	1011,75	1035,18	1017,07	948,91	/
<b>h (heure/ jr)</b>	8,4	8,14	7,7	6,58	7,55	8,57	8,84	9,43	9,57	9,14	10,2	10,2	
<b>H (heure/ jr)</b>	12,2	11,2	10,4	9,9	10,2	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	/
<b>Ig (cal/cm<sup>2</sup>/jr)</b>	509,31	441,91	359,34	295,73	345,67	443,57	524,38	596,78	623,52	602,37	644,90	623,19	
<b>ETP (mm)</b>	150,13	122,33	87,58	63,54	70,18	87,51	125,48	156,05	175,10	178,80	195,80	188,73	1608,32
<b>Hr (%)</b>	38,9	46,3	54,9	60,5	59,6	51,6	44,7	38,2	33,8	28,7	25,6	28,9	42,6
<b>ETP corrigé (mm)</b>	173,94	128,79	87,58	63,54	70,18	87,5	134,98	182,35	215,62	233,21	264,06	245,62	1887,38

La comparaison des résultats de l'estimation de l'ETP obtenus par les formules de Thornthwaite et de Turc qui sont respectivement de 1275,22mm/an et 1887,38mm/an avec l'évaporation mesurée à la station qui est de 3058,3mm/an montre que la formule de Turc est la plus acceptable.

### III.7-Bilan d'eau de la nappe phréatique

La détermination du bilan d'eau de la nappe phréatique repose sur la résolution de l'équation :

$$\Delta Q = \text{Entrées} - \text{Sorties}$$

Les entrées d'eau dans la nappe phréatique sont :

- Les eaux des aquifères profonds (CT et CI) destinées à l'AEP et à l'irrigation
- Les eaux de pluies rejoignant effectivement la nappe phréatique par infiltration
- Les fuites des réseaux des eaux usées  $Q_{E \text{ Usées}}^{\text{Inf}}$

Soit pour les entrées :

$$\text{Entrées} = Q_{F\text{-Irr}} + Q_{F\text{-AEP}} + Q_{Pré}^{\text{Inf}} + Q_{E \text{ Usées}}^{\text{Inf}}$$

Les sorties d'eau de la nappe sont :

- La décharge naturelle vers le nord par écoulement souterrain décharge:  $Q_{ES}^{\text{Ec}}$
- L'évaporation des eaux à partir des surfaces d'eau libres et les zones humides :  $Q_{S \text{ Libre}}^{\text{Ev}}$
- La transpiration par la végétation  $Q_{Vég}^{\text{Tr}}$
- La décharge à travers le système de drainage  $Q_{E \text{ Drainage}}^{\text{Ec}}$

Soit pour les sorties :

$$\text{Sorties} = Q_{ES}^{\text{Ec}} + Q_{S \text{ Libre}}^{\text{Ev}} + Q_{Vég}^{\text{Tr}} + Q_{E \text{ Drainage}}^{\text{Ec}}$$

Pour la résolution de l'équation du bilan hydrique, il faudra procéder à l'estimation des termes de cette équation. Pour l'an 2017, nous avons quelques données que nous avons obtenues de l'ONM, de l'ONA, de la DSA et de la DHW de Ouargla et qui sont:

Le taux de pluies qui est de 74.6mm, une quantité très faible

La superficie des cultures irriguées qui est de 31351.08ha et le débit d'eau d'irrigation de 43739.23 l/s dont 8066.5 l/s à partir des puits et 35672.73 l/s à partir de forages

Le volume annuel des eaux usées qui est de 13620225.48m<sup>3</sup>

L'évaporation mesurée qui est de 3316.1mm connaissant la superficie des surfaces libre, nous pourrions avoir une estimation sur le volume d'eau évaporées à partir de ces étendus d'eau libres

**Conclusion :**

Le climat de la région de Ouargla est un climat hyper aride caractérisé par la rareté et l'irrégularité des pluies avec un taux de pluies de 39,6mm/an pour la période (1996/2017).

Les températures sont trop élevées et atteignent une moyenne maximale de 43,8°C en Juillet, le mois le plus chaud. L'évaporation est également très forte pendant l'été et atteint 454 mm en Juillet, le taux annuel est de 3058,3mm/an

L'évapotranspiration potentielle a été estimée par les formules de Turc et Thornthwaite, elle est respectivement de 1887,38mm/an et de 1275,22mm/an. Cependant, on remarque que l'ETP obtenue par la méthode de Turc reflète mieux les conditions qui règnent dans la région d'étude.

***Chapitre IV :***  
***Matériels et Méthodes***

**IV.1- Introduction :**

La région d'Ouargla souffre du problème de la remontée des eaux. Cette dernière sous des conditions d'un climat saharien où l'évaporation dépasse 2000mm/an entraîne la concentration des sels dans l'eau et le sol. Des analyses du sol et de la nappe ont été réalisées pour suivre cette salinité. Dans ce chapitre seront présentées le matériel et la méthodologie suivie pour atteindre cet objectif

**IV.2- Echantillonnage :**

Une campagne de mesures et de prélèvements a été réalisé au mois de Mars au cours de laquelle 15 échantillons d'eau de la nappe et 45 échantillons de sol ont été prélevés au niveau de la cuvette à proximité des drains

L'échantillonnage de l'eau a été fait par le prélèvement de quinze (15) échantillons dans des bouteilles en plastique à partir des piézomètres. Ces bouteilles sont rincées par l'eau distillée et égouttées avant de les remplir, après ils ont été transportés pour des analyses au laboratoire.

Pour ce qui est du sol, nous avons procédé à la détermination des couches jusqu'à une profondeur de 0.7m à 1.3 m et (45) échantillons de sol ont été prélevés par une tarière. Pour cela, nous avons introduit les échantillons dans des sachets en plastique avec des étiquettes sur lesquelles ont été notés les numéros de la parcelle. Les échantillons ont été transportés au laboratoire pour des analyses physicochimiques et granulométriques.



Fig. IV-1 : Prélèvement des échantillons du sol et de l'eau de la nappe phréatique



**IV.2.1- Matériel utilisé :**

- Une tarière : pour faire manuellement le prélèvement des échantillons du sol.
- Un mètre ruban : mesure la profondeur d'eau.
- Un échantillonneur en plastique d'une longueur 1m et diamètre de 40mm pour prélèvement d'eau.
- Un multi-paramètres de terrain HI 9829 pour la mesure des paramètres physico-chimiques sur site.
- Une pelle
- Des bouteilles de 1.5 L pour prendre des échantillons d'eau.
- Des sachets pour le prélèvement des échantillons du sol.

Les analyses des échantillons d'eau et du sol ont été réalisés au:

- 1- Laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE).
- 2- Laboratoire des Travaux Publiques du Sud (LTPS).
- 3- Laboratoire des Réservoirs Souterrains : Pétroliers, Gaziers et Aquifères (LRSPGA) au Centre de Recherche du Pôle Universitaire03 -UKMO.

**IV.3- Méthodes d'analyse d'eau :**

Nous allons présenter dans cette partie les différentes méthodes d'analyses effectuées sur l'eau de la nappe et le sol.

**IV.3.1- Paramètres physiques :**

Le pH et la conductivité électrique ont été mesurés par un appareil multi-paramètres (HANNA INSTRUMENT HI 9829) munie d'électrodes spécifiques pour la détermination de ces paramètres.



Fig. IV-2 : Mesure de la conductivité (CE) et du pH par le Multi-paramètres HI 9829

### IV.3.2- Paramètres chimiques :

#### IV.3.2.1- Détermination des ions $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ et de la dureté totale TH

Pour le dosage des ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ , nous avons utilisé la méthode de titrage molaire des ions de calcium et de dureté totale de l'eau TH avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH10. Pour le TH on ajoute une solution tampon de pH=10 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), en présence de l'indicateur coloré est le NET (Noir d'Eriochrome T), et le  $\text{Ca}^{2+}$  ajouter 2ml de NaOH en présence de l'indicateur coloré (murexide Ca) qui donne une couleur rouge foncé ou violette. Le magnésium est déterminé, par complexométrie et déduit de la différence ( $\text{Mg}^{+2} = \text{TH} - \text{Ca}^{+2}$ ) (RODIER, 2009).



Fig. IV-3 : Dosage de Calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et dureté de l'eau TH

### IV.3.2.2- Dosage des cations $K^+$ et $Na^+$

Le sodium ( $Na^+$ ) et le potassium ( $K^+$ ) ont été dosés par spectrophotométrie d'émission de flamme (photomètre à flamme 410 – Dr LANGE). Cette technique analytique est basée sur une mesure pratiquée sur des éléments à l'état d'atomes libres grâce à une température élevée. L'élément est dosé en mesurant l'intensité des raies émises à l'état excité (RODIER,2009).

Lorsqu'une solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau ou le solvant s'évapore ; les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés à l'état d'atomes ou de radicaux ceux-ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme ; leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'une radiation de fréquence caractéristique de l'élément mis en solution et dont l'intensité est fonction de sa concentration.



Fig. IV-4 : Dosage du potassium  $K^+$  et du sodium  $Na^+$  par spectrophotomètre à flamme

### IV.3.2.3- Dosage du chlorure :

L'ion chlorure a été dosé par la méthode magnétométrique de MOHR par titrimétrie. Il est précipité par du nitrate d'argent  $AgNO_3$  en présence de chromate de potassium  $K_2CrO_4$  qui a été ajouté comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge de chromate d'argent. (RODIER, 2009).

### IV.3.2.4- Dosage des carbonates et bicarbonates

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de  $pH = 8.3$  et  $4.3$  le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre

alcalimétrique complet (TAC). En présence d'indicateurs, la fin de la réaction est indiquée par un changement de couleur, soit un virage. (RODIER, 2009).

#### **IV.3.2.5- Dosage des sulfates**

Les sulfates sont dosés par la méthode spectrométrie avec un appareil DR 2800.



Fig. IV-5 : Dosage de sulfate par le spectrophotomètre atomique.

### **IV.4- Analyses du sol :**

#### **IV.4.1- Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. Elle a été effectuée par tamisage à sec après lavage (norme NF P 94-056 (Mars 96)).

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs catégories de grains décroissantes. Le tamisage peut être effectué soit manuellement soit à l'aide d'un vibrotamis. Les étapes à suivre pour cet essai sont :

- a. Procéder à un quartage afin que l'échantillon soit représentatif, ensuite procéder à une prise d'essai conformément à la formule :  $200D \leq P \leq 600D$  avec D : diamètre moyen estimé du plus gros grain.
- b. Peser l'échantillon ;
- c. Imbiber l'échantillon dans un récipient ;
- d. Eliminer les fines par lavage continu (tamis 0.08 mm) jusqu'à ce qu'il ne reste que les éléments propres ;

- e. Sécher le matériau dans une étuve réglée à 55°C pour 24h.
- f. Tamiser l'échantillon en versant ce dernier au sommet d'une série de tamis et en les agitant ;
- g. Recueillir le refus de chaque tamis et le peser dans une balance de portée pesant au gramme près ;
- h. Rappporter les poids des différents refus poids initiaux du matériau ;
- i. Calculer le pourcentage des tamisats ;
- j. Etablir la courbe granulométrique.



Fig. IV-6 :Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage

#### IV.4.2- Chimie du sol :

La conductivité électrique(CE) et le pH ont été mesuré en utilisant un Multi-paramètres (HANNA INSTRUMENT HI 9829). Les mesures ont été effectués sur un extrait sol/eau distillée de rapport 1/5à 25° C, après agitation pendant 30 minute et 20 min de repos, puis les filtré avec papier filtre.

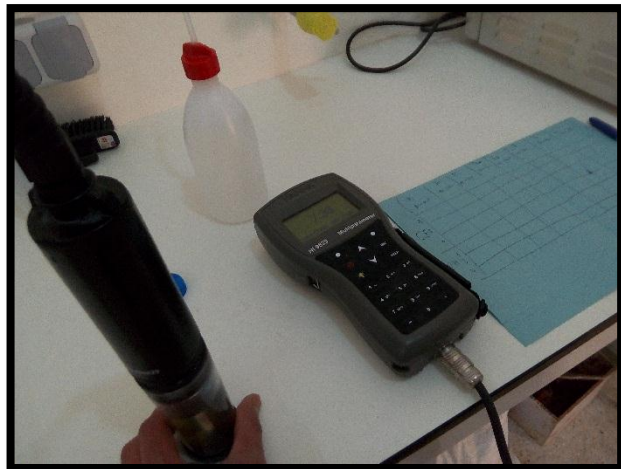


Fig. IV-7 : Mesure de la Conductivité (CE) et du pH du sol

##### IV.4.2.1- Gypses et Insolubles ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) :

Chimiquement il est composé de sulfate de calcium hydraté, ayant comme formule :  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ . (COUTINET, 1965). Le gypse est dosé par la méthode de MOHR(BS) (1979), par calcination au four. L'analyse passe par plusieurs étapes : séchage, tamisage, ébullition avec présence de HCl et  $\text{BaCl}_2$ , refroidissement, la précipitation, la filtration, la calcination et le pesage des sulfates.



Fig. IV-8 : Dosage du gypse et des insolubles ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ )

**IV.4.2.2- Dosage de Carbonate de Calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) :**

On a utilisé la méthode de titrage molaire par le NaOH de 1N en présence d'acide chlorhydrique HCl et la phénolphtaléine à 0.5 % comme indicateur, la solution se donne dans le virage au violet.



Fig. IV-9 : Dosage de Carbonate de Calcium ( $\text{CaCO}_3$ )

#### IV.4.2.3- Les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) :

Le dosage des chlorures a été réalisé par la méthode de MOHR, dont la précision, si elle n'est pas excellente, est largement suffisante pour les sols.

L'analyse a été effectuée sur un extrait sol/eau distillée de rapport de  $\frac{1}{2}$  laissé pendant 24h dans un bicher, puis ajout d'acide sulfurique dans le cas de  $\text{pH} \geq 7$  ou les carbonate de calcium dans le cas de  $\text{pH} \leq 7$ . La solution ainsi obtenue est titrée par le nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ) de 0.02N jusqu'à l'apparition de couleur rouge persistante, en présence chromate de potassium ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) à 10 % comme indicateur.





Fig. IV-10 : Dosage de Chlorure ( $\text{Cl}^-$ )

***Chapitre V :***  
***Résultats et Discussion***

### V.1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des différentes mesures et analyses que nous avons effectuées sur les eaux de la nappe phréatiques et les échantillons du sol de la région de Ouargla. Ces résultats sont représentés sous forme de tableaux, cartes, courbes et graphes suivie par des discussions et interprétations.

### V.2- Résultats des analyses du sol :

#### V.2.1- L'analyse granulométrique :

Quinze échantillons de sol ont été prélevés à trois profondeurs dans la région à l'aide d'une tarière. Les analyses de ces échantillons ont été effectuées au laboratoire de LTPS. L'analyse granulométrique porte sur les fractions meubles sableuses. Celles-ci après conditionnement (lavage et séparation de la fraction sableuse, séchage à l'étuve) sont tamisées dans une colonne de sept tamis de mailles comprises entre 0,08 et 5mm

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle permet ainsi de déterminer la texture du sol.

Dans le but de faire une description du sol, nous avons tracé les courbes granulométriques pour chaque échantillon, ce qui permet de les comparer entre eux et sert de base aux différentes classifications des sols

Les courbes granulométriques ont été créée à l'aide du logiciel Excel (Fig. V-1,2,3). L'axe des abscisses en échelle logarithmique représente les diamètres des tamis et l'axe des ordonnées arithmétique représente le pourcentage de passants cumulés.

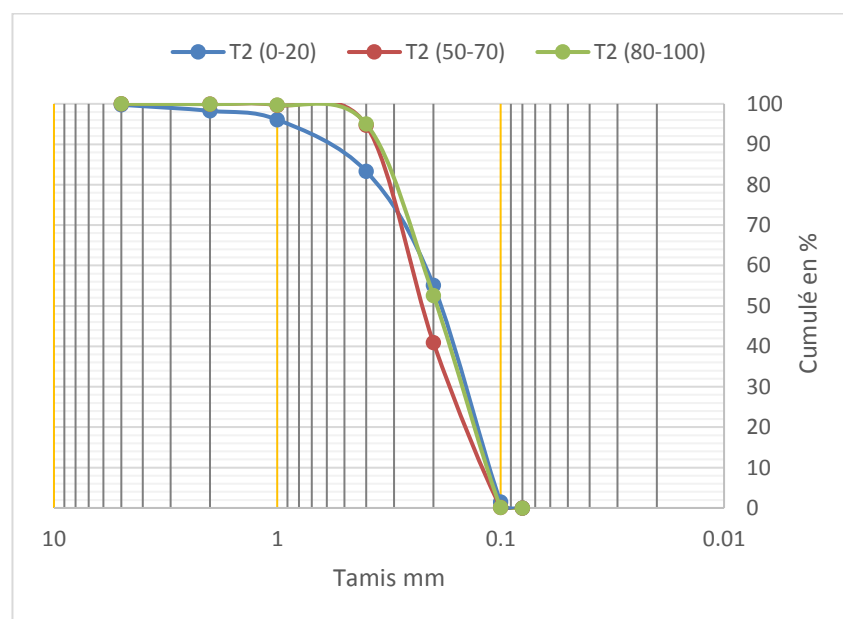


Fig. V-1 : Courbe granulométrique du sondage T2

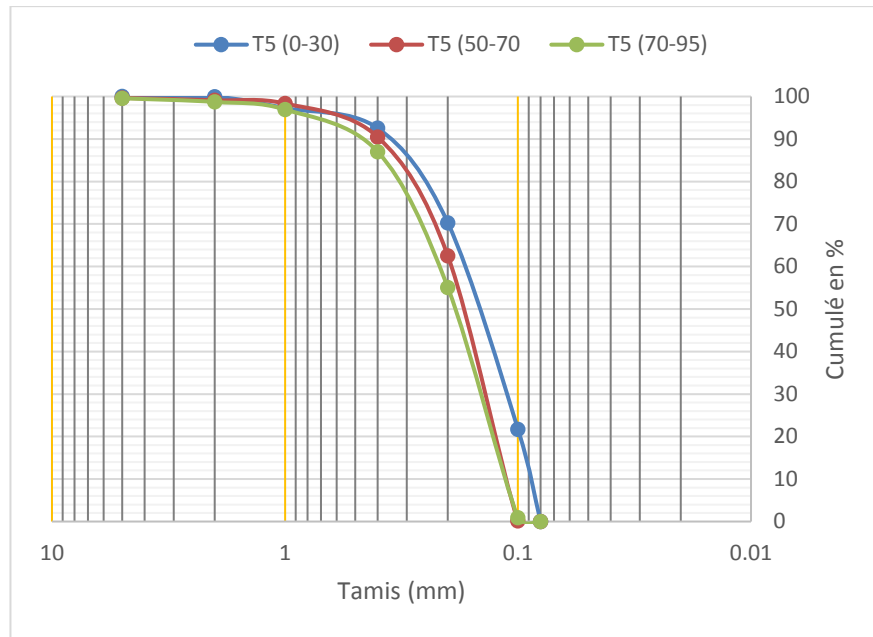


Fig. V-2 : Courbe granulométrique du sondage T5

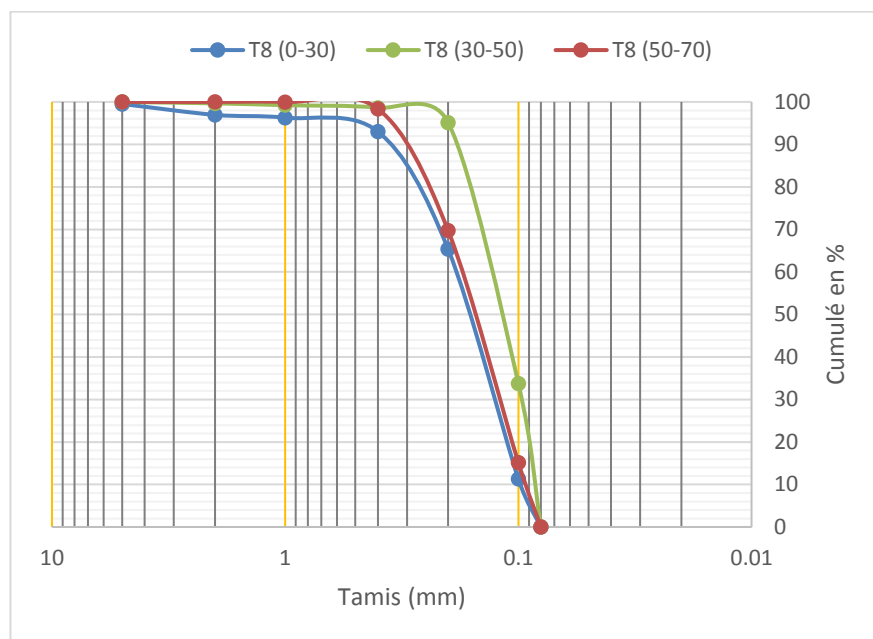


Fig. V-3 : Courbe granulométrique du sondage T8

L'observation de ces courbes granulométriques montre un seul faciès et la majorité de ce faciès varient entre les diamètres 0.2 et 5mm. Ce sont des sables avec une dominance de sables fins.

Le coefficient d'uniformité caractérise la répartition en taille des éléments qui composent un sol. Il se calcule de la façon suivante :

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

avec :

Cu : le coefficient d'uniformité

$d_{60}$  : le tamis correspondant à 60% du passant cumulé sur la courbe granulométrique

$d_{10}$  : le tamis correspondant à 10% du passant cumulé sur la courbe granulométrique

Si  $Cu < 2$  : la granulométrie est dite uniforme Si  $Cu > 2$  : la granulométrie est dite étalée

D'après les résultats de la granulométrie représentées dans le tableau ci-dessous, on observe que la majorité de ces sols sont uniformes (80%), avec la présence de quelques sols étalées (20%), cette uniformité dominante signifie que le pourcentage des fractions fines est élevé et très dominant. Par contre, les fractions grossières sont moins présentées dans le sol.

Tableau. V-01 : paramètres physiques du sable de la région

Points de prélèvement	Profondeur	Cu	Granulométrie
T1	0-30	1.97	Uniforme
	30-50	1.71	
	50-70	1.71	
T2	0-20	1.91	
	50-70	1.92	
	80-100	1.91	
T3	0-20	1.81	
	50-80	1.98	
	80-100	1.98	
T4	0-30	1.92	
	50-80	1.83	
T5	0-30	1.78	
	50-70	1.58	
	70-95	1.70	
T6	0-30	1.96	
	60-80	1.94	
	90-110	1.68	
P3	0-30	1.99	
	40-70	1.96	
	80-110	1.57	
P4	0-30	1.75	
	30-60	1.64	
	80-110	1.55	
T8	0-30	1.80	
	30-50	1.45	
	50-70	1.87	
T9	0-30	2.90	Étalée
	40-70	2.53	
	80-100	2.10	
T11	0-30	2.33	
	40-70	3.56	
	80-110	3.11	
L1	0-30	1.91	Uniforme
	50-80	1.91	
	110-130	3.25	Étalée

**V.2.2- Les caractéristiques physico-chimiques du sol :**

Quatorze sondages ont été creusés au niveau de la cuvette au cours de cette opération, trois prélèvements de sol ont été réalisés à différentes profondeurs. Quarante et un échantillons de sol ont été analysés au laboratoire de LTPS de Ouargla. Les résultats de ces analyses sont représentés dans le tableau suivant :

L'observation du tableau ci-dessous montre que la composition chimique du sol de la cuvette de Ouargla est dominée par le gypse avec des quantités qui varient entre 1.75 et 34.91% au niveau du L3 entre 50 et 80cm de profondeur. Ensuite la composition du sol en NaCl qui est plus faible et les quantités les plus fortes de 25.35 et de 21.63% sont observées respectivement au niveau des sondages T5 et L1

Le sol est très pauvre en carbonates qui ne représentent que 9% au maximum au niveau des sondages T8 et L3

La conductivité électrique est variable, dans le sol et dépasse les 1000 dans la plupart des échantillons, voire plus de 10 000. Elle se trouve influencée, tant par les évaporites que par les carbonates et que par les sulfates. Elle varie entre 407.73 au T6 et 15206.67 $\mu$ S/cm au niveau de L1. Dans la majorité des sondages cette valeur diminue en allant vers la profondeur, ce qui signifie une migration ascendante des sels à la surface du sol. Cette migration forme une croûte saline à la surface du sol.

Tableau. V-02 : Résultats des analyse physico-chimiques du sol

point de prélèvement	Profondeur	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	NaCl(%)	CEμS/cm
T1	0-30cm	16.61	1	1.2	1405.53
	30-50	8.27	2	0.30	871.73
	50-70	12.24	0	0.27	790.27
T2	0-30	20.76	7	1.36	1810.53
	50-70	6.87	1	0.14	453.38
	80-100	2.38	4	0.13	906.27
T3	0-3	19.06	7	1.82	2896
	50-80	3.79	7	0.90	658.67
	80-100	3.59	0	2.1	1827.27
T4	0-30	18.06	0	0.02	9598
	60-80	4.04	0	0.14	1812.87
	/	/	/	/	/
T5	0-30	19.83	1	25.35	12082
	50-70	3.81	0	2.97	2852
	70-95	9.11	0	2.6	3146
T6	0-30	25.94	0	0.34	1060.87
	50-80	1.75	0	0.30	407.73
	90-110	2.69	0	0.22	607.47
T7	0-30	15.63	0	1.02	1959.67
	30-50	7.11	0	0.51	1001.4
	60-80	3.72	0	0.74	1359
T8	0-30	3.71	3	0.66	1903.07
	30-50	4.27	9	0.75	1451.27
	50-70	5	7	0.93	1519.67
T9	0-30	16.18	7	3.26	3574
	40-70	10.17	0	0.21	646.2
	80-100	8.48	0	0.31	724
T11	0-30	21.36	0	5.7	3873.13
	30-50	28.75	0	2.58	1983.33
	50-80	14.65	0	1.55	1844.93
P3	0-30	3.65	0	0.05	1771.13
	50-80	9.21	5	0.16	667.87
	80-100	4.06	0	0.36	651.27
P4	0-30	17.22	0	1.07	1405.53
	30-60	6.67	0	0.16	671.73
	80-100	6.29	5	0.18	1577.13
L1	0-30	9.36	0	0	1057.07
	50-80	7.70	7	2.37	2520.67
	110-130	15.96	0	21.63	15206.67
L3	0-30	9.53	3	5.54	4404.67
	50-80	34.91	8	2.51	3549.33
	90-110	6.12	9	3.08	3658

### **V.3- Résultats de l'étude de la nappe :**

#### **V.3.1- Les caractéristiques physico-chimiques de la nappe :**

Pour l'étude des caractéristiques physico-chimiques de la nappe phréatique de Ouargla, nous avons réalisé une campagne de prélèvement d'eau en Mars 2018 au cours de laquelle 15 échantillons ont été prélevés. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire de l'Algérienne des eaux (ADE). Les résultats de ces analyses montrent que le sodium est le cation le plus dominant avec des teneurs variant de 2000 mg/l au P4 à 39000 mg/l au T5, le calcium varie entre 1063.52 mg/l au T4 et 23246.4 mg/l au sondage L3. Par ailleurs, la teneur en magnésium est faible par rapport aux autres cations où les concentrations varient entre 43.77 mg/l au P3 et 724.14 mg/l au T11. La teneur en potassium varie de 116 à 4600 mg/l respectivement aux sondages T2 et T5. Le chlorure est l'anion le plus dominant avec des teneurs variant de 4500 mg/l au T2 à 60000 mg/l au T5, les concentrations de sulfates varient entre 2700 mg/l au P4 à 19000 mg/l au T11, la teneur en bicarbonate est faible par rapport aux autres anions où les concentrations varient entre 88.73 mg/l au P4 et 338.27 mg/l au T1. En ce qui concerne la conductivité électrique, elle varie entre 22 mS/cm au P4 et 184.4 mS/cm au T2. Les valeurs de pH varient entre 7.33 au sondage L3 à 8.63 au T1.

Pour déterminer le faciès chimique de la nappe, nous avons réalisé le diagramme de piper à l'aide du logiciel Diagramme. Le diagramme de Piper (Fig. V-4) montre sur le triangle des cations que la majorité des points 80% tendent vers le pôle sodique sauf quelques points qui tendent plutôt vers le pôle calcique. Sur le triangle des anions, on remarque que la majorité des points plus de 80% tendent vers le pôle chloruré. Ainsi, le faciès chimique de la nappe est chloruré sodique ou sulfaté sodique pour la plupart des points sauf au niveau des sondages L3 et P4 le faciès est chloruré et sulfaté calcique et magnésien indiquant une origine liée au gypse.



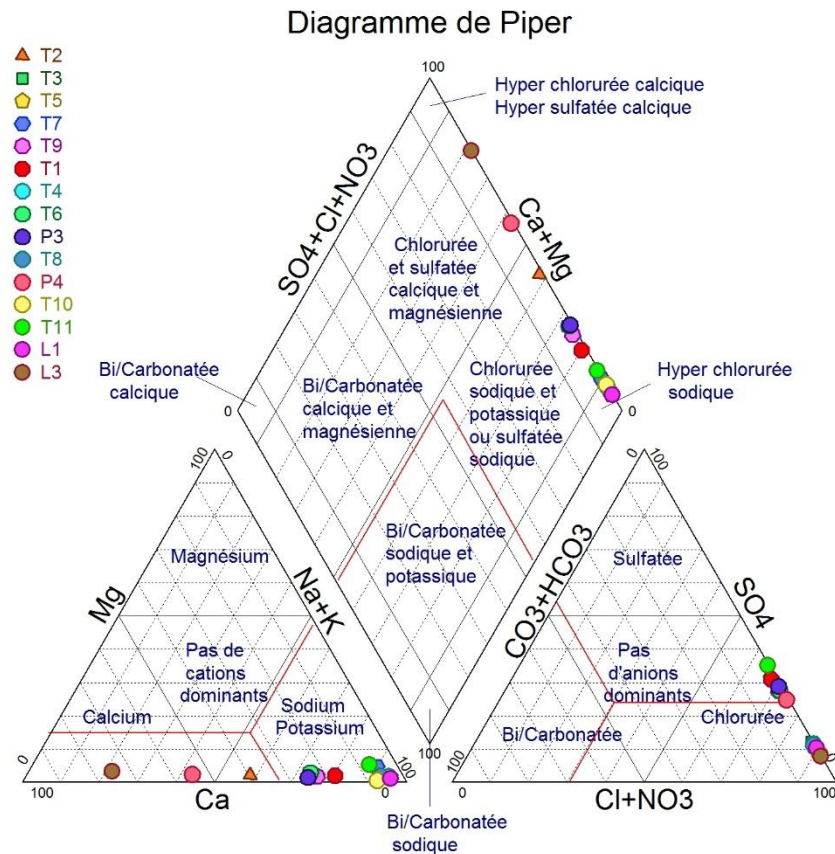


Fig. V-4 : Diagramme de Piper de la nappe de Ouargla

#### V.4- Evolution spatio-temporelle du niveau et de la salinité de la nappe :

##### V.4.1- Piézométrie de la nappe :

En vue de suivre l'évolution de la nappe, nous avons tracé deux cartes piézométriques la première pour la campagne 2003 et la deuxième pour la campagne 2015. Ces cartes ont été réalisées par le logiciel Surfer version 11.

L'observation de la carte piézométrique de l'année 2003 (Fig. V-5 ), montre un écoulement général qui se fait du Sud au Nord vers le point le plus bas de 108 m qui a été mesuré au piézomètre P24 situé au sud-ouest de Sebkheth Sefioun à 40km de la ville vers laquelle la nappe s'écoule suivant une pente de 0,3‰, Par ailleurs, on note que le niveau le plus haut de 136 m a été mesuré au piézomètre P34 situé au Sud sous la ville de Ouargla à partir duquel l'écoulement est divergent vers le nord-est en direction de sebkhath Oum Raneb avec un gradient de l'ordre de 0,005 et le nord et vers l'ouest en direction des drains avec un gradient de 0,005.

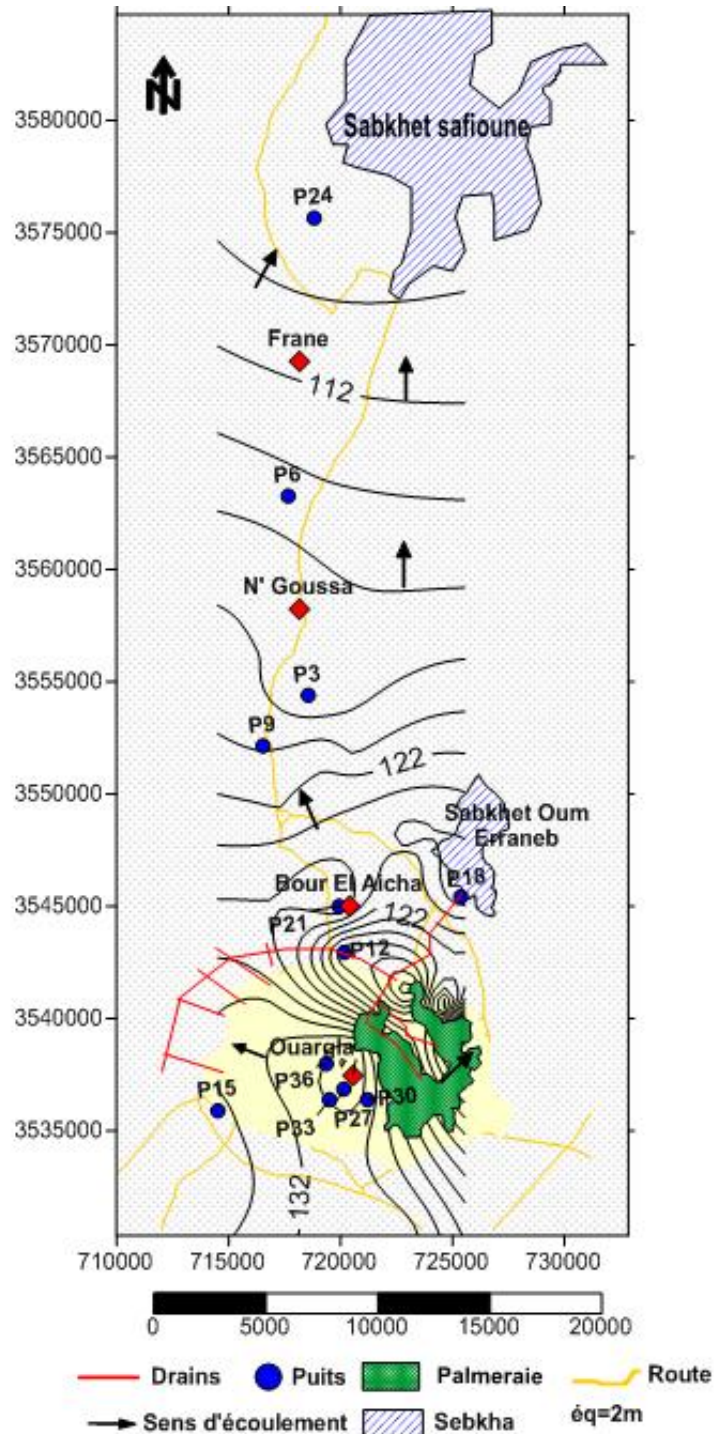


Fig. V-5 : Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2003)

D'après la carte piézométrique réalisée à partir des données de la campagne 2015 (Fig. V-6), on remarque que le niveau piézométrique passe de 136 m d'environ au Sud à 104 m au Nord. Au Sud, on remarque un dôme à partir duquel l'écoulement est divergeant et où les courbes de niveaux sont serrées avec un gradient hydraulique fort estimé à 0,004. L'écoulement de la nappe vers Sebkhath Sefioune se fait à faible pente de 0,0005

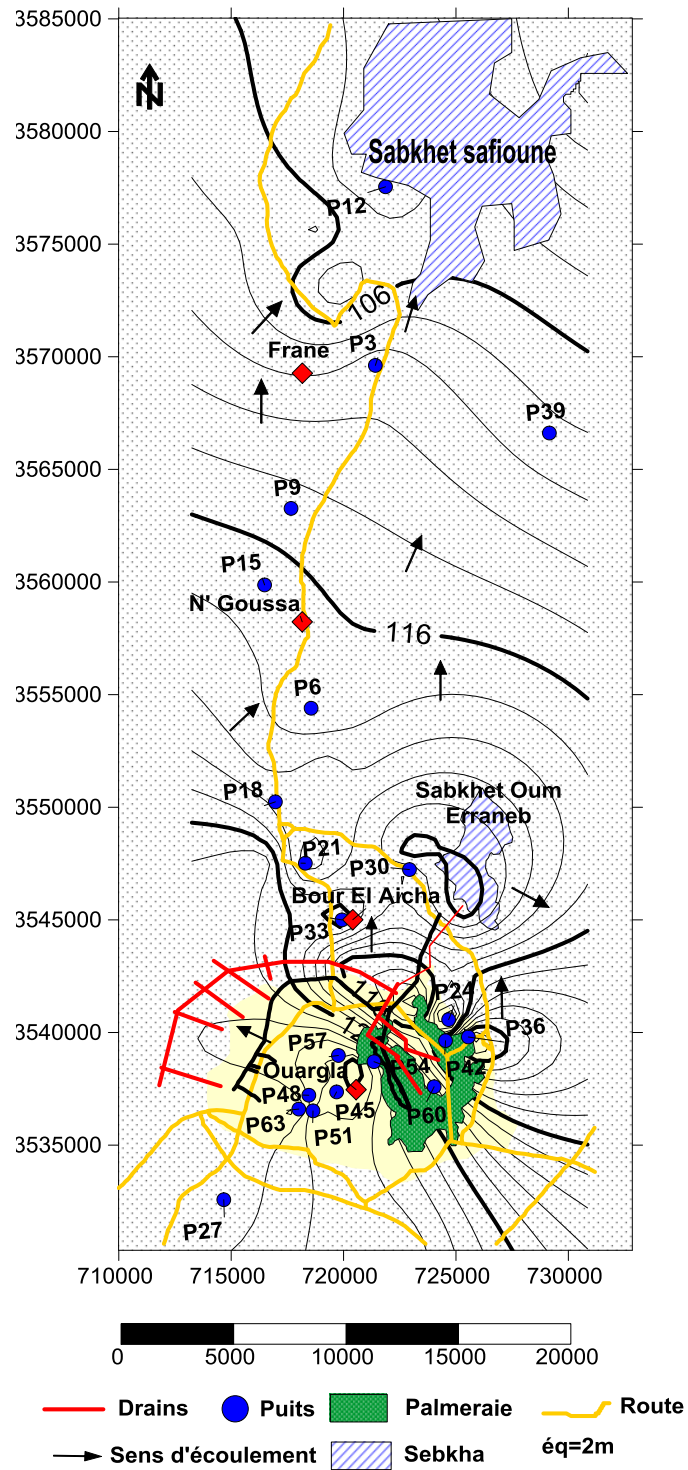


Fig. V-6 : Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2015)

#### V.4.2- Suivi de l'évolution du niveau et de la salinité de la nappe

Dans le but de suivre l'évolution du niveau et de la salinité de la nappe nous avons fait des mesures et prélèvement au niveau de la nappe suivant des profils (Fig. V-7). Cinq profils ont été réalisés, les quatre premiers profils ont été réalisé par le BG (Bureau d'étude Bonnard & Gardel) en 2003 nous

avons repris les mêmes points de prélèvement plus un profil comportant les sondages P3 et P4 et ce dans le but de voir l'évolution du niveau et de la salinité de la nappe entre 2003 et 2018.

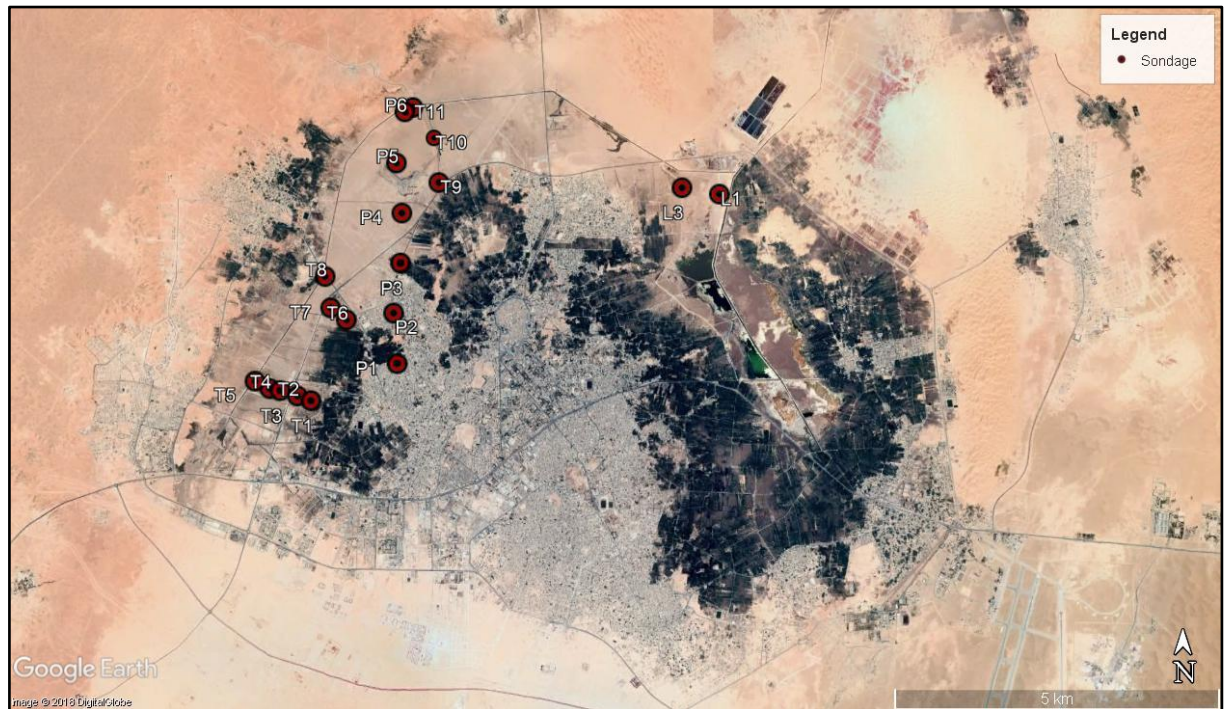


Fig. V-7 : Carte de situation des sondages

- Le premier profil, situé à l'ouest de Ouargla, entre la palmeraie et le drain 5 sondages numérotés de T01 à T05
- Le deuxième profil, situé entre Bou Ameer et le canal de drainage, comporte trois sondages numérotés T06 à T 08.
- Le troisième profil 3 sondages numérotés de T09 à T11, situé le long de l'ancienne route de Ghardaïa
- Le quatrième profil deux sondages numérotés L01 et L03situés au sud de la station de pompage de Chott.
- Le cinquième profile comporte deux sondages P3 et P4 implanté près de cité Bou Ameer et proche de la palmeraie.

D'après les courbes de l'évolution de la profondeur (Fig. V-8) et la conductivité électrique de la nappe (Fig. V-9) on observe une diminution du niveau de la nappe phréatique dans ce profil sauf au niveau du sondage T4 où il y a une augmentation du niveau de la nappe à 0.9 m. La conductivité est faible en 2018 par rapport à ses valeurs en 2003 aux sondages (T3, T4 et T5). Cependant, on note que la conductivité est élevée au T1 et T2 de l'ordre de 34910  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 18440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ces valeurs indiquent une forte minéralisation.

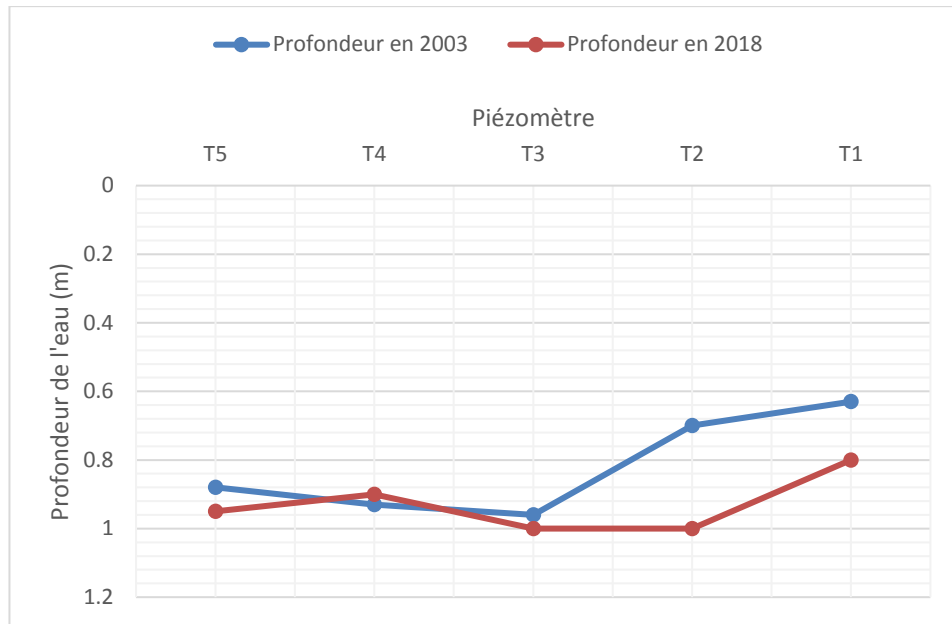


Fig. V-8 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le premier profil

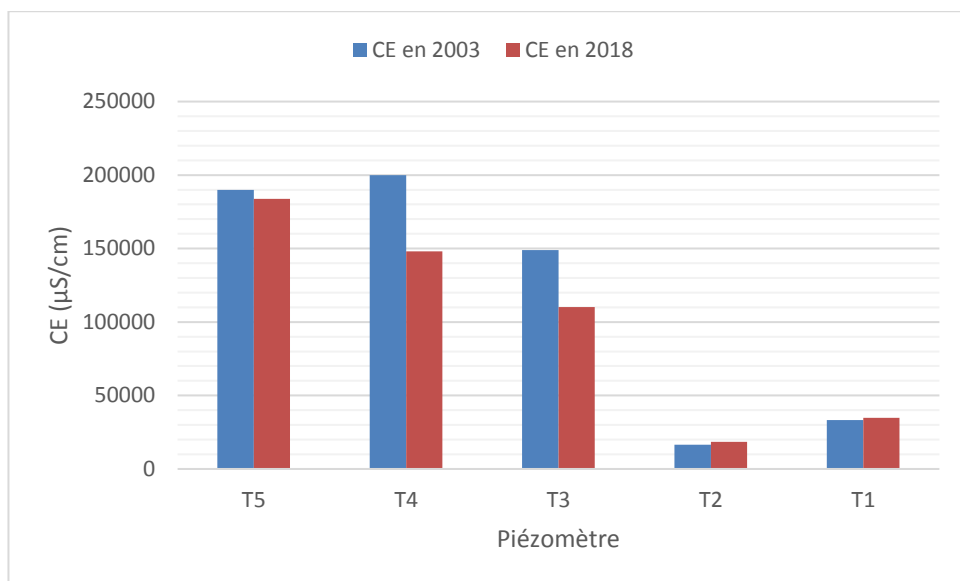


Fig. V-9 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le premier profil

L'observation des courbes de l'évolution du niveau de la nappe du deuxième profil (Fig. V-10) montre que le niveau de la nappe a diminué en 2018 par rapport à l'an 2003 au T6 et T7 mais on note, et une augmentation du niveau de l'eau au T8 où la profondeur était de 0.95 et elle a diminué à 0.8m. La conductivité électrique a diminuée aux points T6 et T7 (Fig. V-11) mais elle a augmentée au niveau du sondage T8

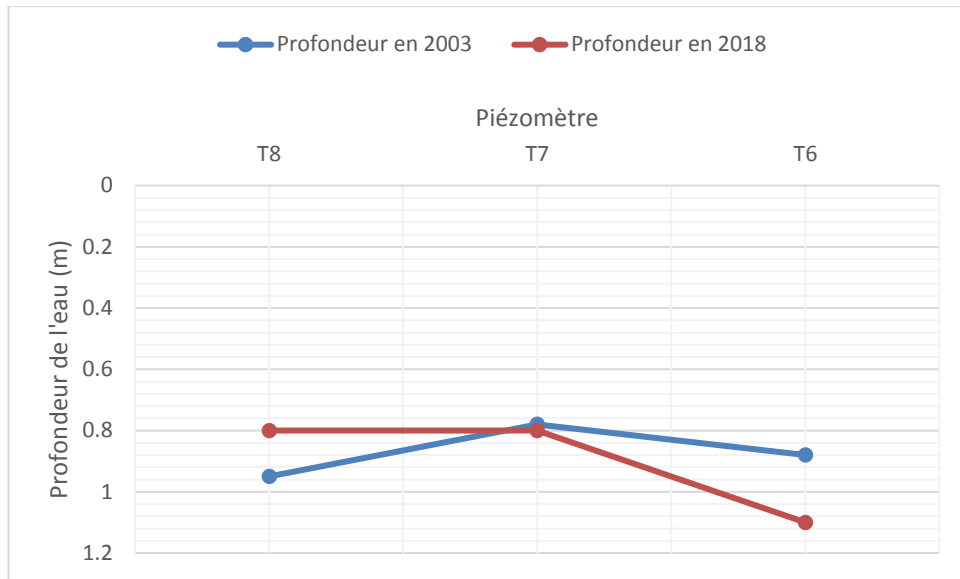


Fig. V-10 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le deuxième profil

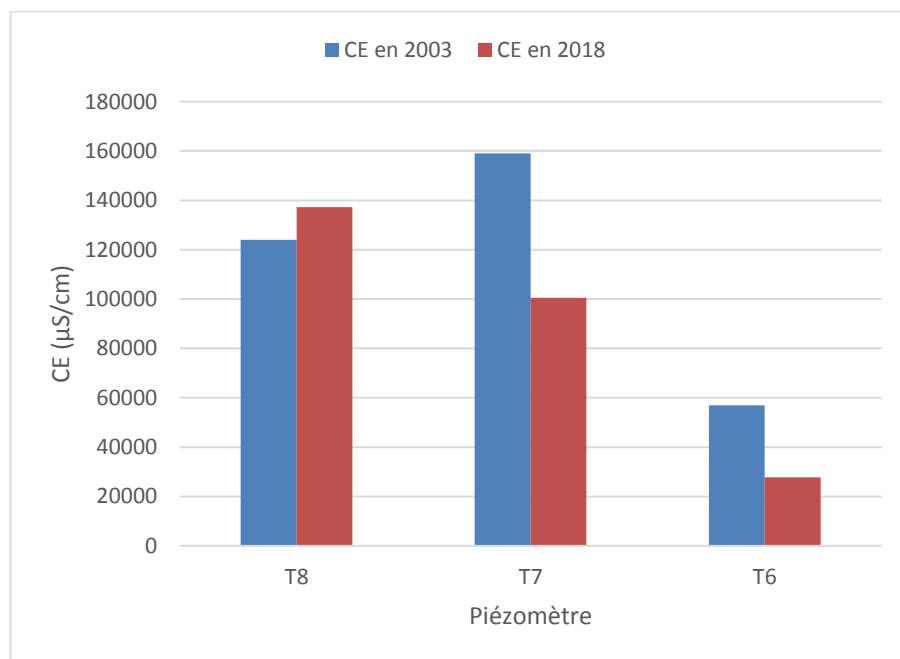


Fig.V-11 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le deuxième profil

Les (Fig. V-12) et (Fig. V-13) qui représentent les variations de la profondeur et de la conductivité électrique de la nappe phréatique suivant le troisième profil montrent qu' il y a une augmentation de la profondeur du niveau de la nappe aux sondages T9 de 0.72 à 1m par contre, on remarque une diminution de la profondeur de la nappe au niveau du sondage T10.

En ce qui concerne la conductivité électrique, on remarque qu'elle est faible en 2018 par rapport l'an 2003 suivant ce profil.

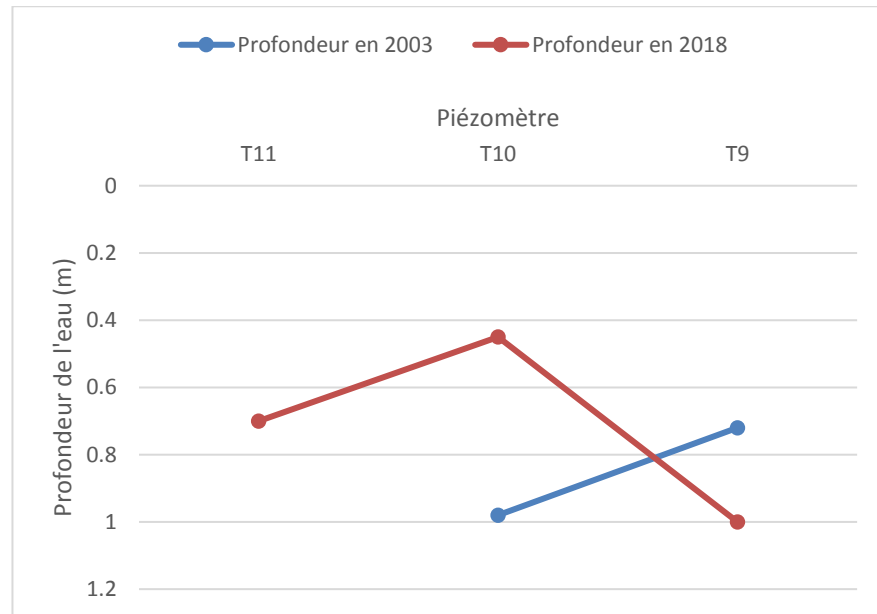


Fig. V-12 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 Suivant le troisième profil

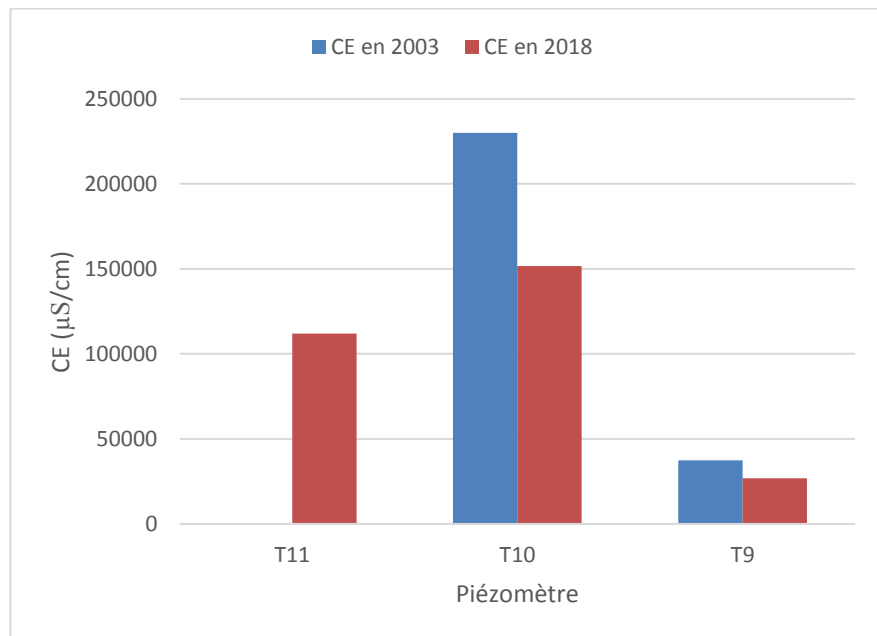


Fig. V-13 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 Suivant le troisième profil

Sur le quatrième profil (Fig. V-14), on remarque que la profondeur de l'eau a diminuée de 0.95m en 2003 à 0.60m au niveau du sondage P4 donc le niveau de la nappe a augmenté en 2018 par contre il n'y a eu aucune évolution du niveau de la nappe au sondage P3. Les valeurs

de la conductivité électrique dans ce profil (Fig. V-15) indiquent une diminution en l'an 2018 par rapport leurs valeurs en 2012.

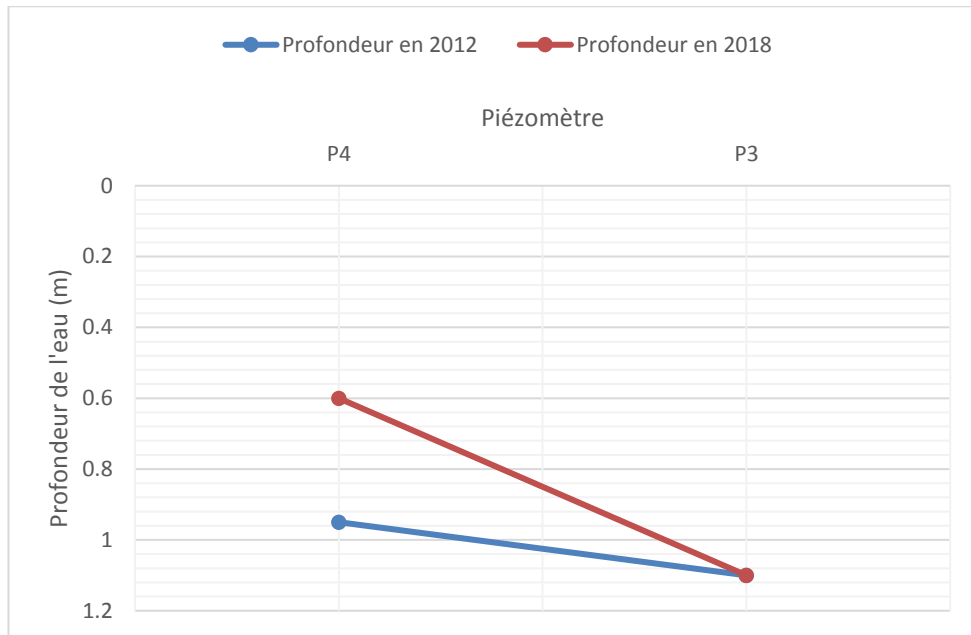


Fig. V-14 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le quatrième profil

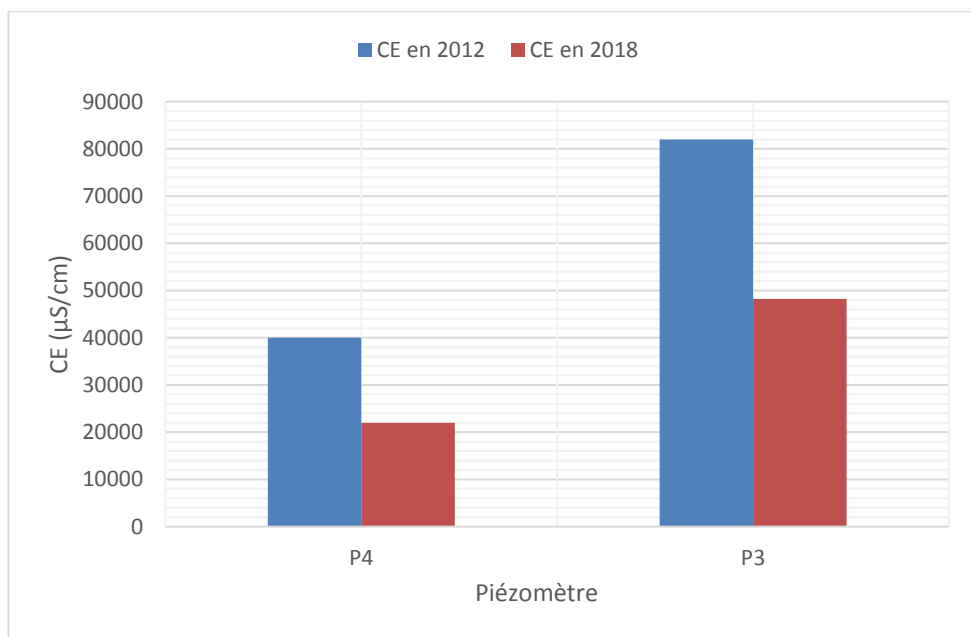


Fig. V-15 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018 Suivant le quatrième profil

D'après les courbes du cinquième profil qui représentent les variations de la profondeur de la nappe phréatique (Fig. V-16) et les valeurs de la conductivité électrique (Fig. V-17) aux sondages L3 et L4 dans la zone d'étude, on observe une diminution de la profondeur de la



nappe de 1.4 à 1m au L3 et de 2.56 à 1.3m au L1 donc une augmentation du niveau de la nappe en 2018. En ce qui concerne les valeurs de la conductivité, on note qu'il y a une petite évolution au L3 avec une baisse conductivité au niveau du sondage L1 de 193000 $\mu$ S/cm en 2012 à 161300 $\mu$ S/cm en l'an 2018.

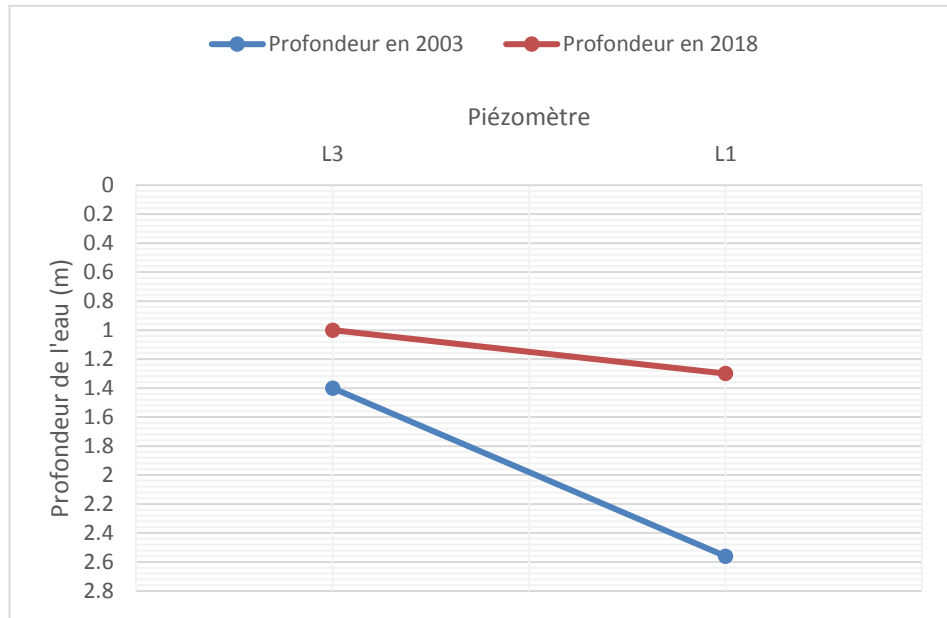


Fig. V-16 : Variation de la profondeur de la nappe entre 2003 et 2018 suivant le cinquième profil

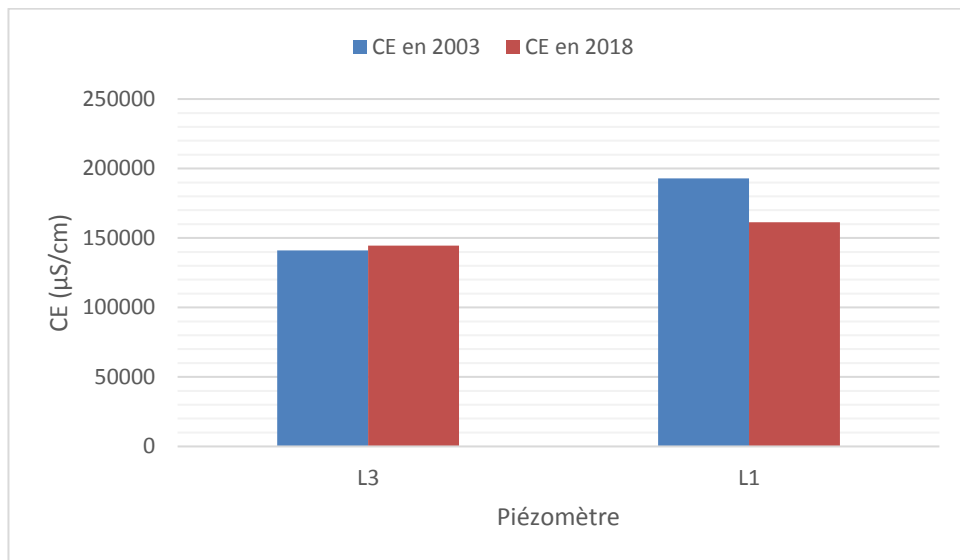


Fig. V-17 : Variation de la conductivité électrique de la nappe entre 2003 et 2018  
Suivant le cinquième profil

## **Conclusion**

L'analyse des courbes granulométrique a montré la dominance des sables fins dans le sol de la région et que la majorité de ces sols sont uniformes (80%), avec la présence de quelques sols étalées (20%).

La composition chimique du sol de la cuvette de Ouargla est dominée par le gypse au niveau du L3. Ensuite la composition du sol en NaCl et enfin par des quantités très faibles en carbonates.

La conductivité électrique du sol est variable dans l'espace et dépasse les 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans la plupart des échantillons, elle se trouve influencée, tant par les évaporites que par les carbonates et que par les sulfates. Dans la majorité des sondages cette valeur diminue en allant vers la profondeur, ce qui signifie une migration ascendante des sels à la surface du sol. Cette migration forme une croûte saline à la surface du sol.

Les résultats d'analyses de la nappe phréatique au niveau de la zone d'étude montrent que le chlorure et le sodium sont les ions les plus dominants. Le diagramme de Piper a permis de déterminer le faciès chimique de la nappe qui est chloruré sodique ou sulfaté sodique pour la plupart des points sauf au niveau des sondages L3 et P4 le faciès est chloruré et sulfaté calcique et magnésien indiquant une origine liée au gypse.

L'évolution spatio-temporelle du niveau de la nappe et de sa salinité suivant les profils montre une augmentation du niveau de la nappe en 2018 par rapport à 2003 sauf pour le premier profil où on remarque une baisse aussi bien dans le temps que dans l'espace depuis la palmeraie jusqu'au drain. Quant à la salinité de la nappe, les valeurs de la conductivité électrique montrent une baisse pour la plupart des profils entre les deux périodes.

*Conclusion  
Générale*

## **Conclusion générale**

La Wilaya d'Ouargla est située au Nord-Est du Sahara septentrional. La région d'étude occupe le fond d'une cuvette dans la basse vallée de l'oued Mya et s'inscrit dans un vaste bassin sédimentaire du Sahara septentrional avec un caractère climatique de hautes températures à 43,8°C pendant le mois de Juillet , ainsi que de précipitation moyenne annuelle de 39.6 mm et une évaporation de l'ordre de 3058,3 mm/an. Des dépôts détritiques quaternaires à prédominance sableux.

Géologiquement, notre zone d'étude appartenant à la plate- forme saharienne, qui présente une tectonique relativement stable. Elle est creusée dans un dépôt déritique de terrains Tertiaires (Mio-Pliocènes), et Quaternaires de la basse Vallée de l'Oued M'ya (bassin Mésozoïques), dans lequel les sables dominants avec alternance des argiles, des calcaires et des gypses.

Du point de vue hydrogéologique la région renferme deux grands aquifères : continental intercalaire et le complexe terminal dont les eaux sont utilisées pour l'AEP et l'irrigation. Le Continental intercalaire est représenté par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du crétacé inférieur, le complexe terminal regroupe plusieurs aquifères situé dans des formations géologiques différentes et font partie d'un même ensemble hydraulique.

La nappe phréatique de Ouargla est contenue dans des formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire.

Les eaux de la nappe phréatique de la région de la basse vallée de Ouargla ont fait l'objet de plusieurs études antérieures pluridisciplinaires du fait des problèmes que présentent les eaux de cette nappe superficielle ; remontées spectaculaires de son niveau piézométrique, la minéralisation et salinisation excessive de ces eaux et leurs impacts sur l'homme et l'environnement. L'étude du sol par l'analyse granulométrique a montré une formation sableuse avec dominance des sables fins. La majorité de ces sols sont uniformes avec la présence de quelques sols étalées.

La composition chimique du sol de la cuvette de Ouargla est dominée par le gypse au niveau du L3. Ensuite la composition du sol en NaCl qui est plus faible et y a des quantités plus fortes sont observées au niveau des sondages T5 et L1, et le sol est très

pauvre en carbonates qui ne représentent que 9% au maximum au niveau des sondages T8 et L3.

La conductivité électrique du sol est variable dans l'espace et dépasse les 1000 dans la plupart des échantillons, elle se trouve influencée, tant par les évaporites que par les carbonates et que par les sulfates. Dans la majorité des sondages cette valeur diminue en allant vers la profondeur, ce qui signifie une migration ascendante des sels à la surface du sol. Cette migration forme une croûte saline à la surface du sol.

Les résultats d'analyses de la nappe phréatique montrent que le chlorure et le sodium sont les ions les plus dominants. Le faciès chimique de la nappe est chloruré sodique ou sulfaté sodique indiquant une origine liée au gypse.

Les eaux de la nappe phréatique sont en contact avec une lithologie riche en évaporites ce qui révèle une forte minéralisation exprimées par des valeurs de conductivité électrique très élevées ( $160000\mu\text{S. Cm}^{-1}$ ), les concentrations en éléments chimiques dépassent les normes de l'OMS.

L'évolution spatio-temporelle du niveau de la nappe et de sa salinité suivant les profils montre une augmentation du niveau de la nappe en 2018 par rapport à 2003 sauf pour le premier profil où on remarque une baisse aussi bien dans le temps que dans l'espace depuis la palmeraie jusqu'au drain. Quant à la salinité de la nappe, les valeurs de la conductivité électrique montrent une baisse pour la plupart des profils entre les deux périodes.

Au terme de ces travaux de recherches, on propose les recommandations suivantes :

- Assurer une bonne gestion de la ressource en eau, en appliquant les systèmes et méthodes d'irrigation efficaces et économiques.
- Procéder au traitement des eaux excédentaires (eaux usées et eaux de drainage) et les utiliser sous une forme de façon rationnelle.
- Valoriser les ressources naturelles, particulièrement en eau et en sol, sans oublier la dimension humaine.

Enfin dans tous les cas, le contrôle du niveau de la nappe phréatique et son maintien au-delà d'une profondeur critique est toujours indispensable.

*Références  
bibliographiques*

## Références bibliographiques :

- ABDELHAFID Youcef (2009/2010) :** Cartographie de la salinité des sols par induction électromagnétique .Magister en science agronomique- école national supérieure agronomique d'El Harrach- Alger, pp102.
- ABU-SHARAR, T.M., BINGHAM, F.T.&RHOADES, J. D. (1987).** Reduction in hydraulic conductivity in relation to clay dispersion and disaggregation. Soil Science Society of American Journal, **51** :342–346.
- AL DROUBI, A, GRONDIN, J.L., FRITZ, B.&TARDY, Y. (1978).** Calcul des équilibres dans le système CaCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>. Rappel des conditions de dissolution et de précipitation de la calcite. Sci. géol. Bull., **31**(4):195–202.
- AL-KARAKI G N., (2000):** Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. Journal of Plant Nutrition. Vol. 23, No. 1 : 1- 8
- André Musy (2005) :** Cours d'hydrologie générale.
- APPELO, C.&POSTMA, D. (1993):** Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema. 479 p.
- ASHRAF et Foolad, (2007):** Improvions plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline, pp. 206-216
- AUBERT G., (1978) :** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'I.N.El-Harrach , Vol VI,N° 1: 195.
- AUBERT G., (1975) :** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'I.N.A., Alger, 6 (1) : 185-195.
- BOUTELLI Med Hichem (2012) :** Salinité des eaux et des sols au niveau de la sebkha de bamendil caractérisation et conséquence sur l'environnement. Mémoire de Magister, Université KasdiMerbah-Ouargla, 90 pages.
- BARBERIO,L.&VALLES, V. (1992).** Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols dans la vallée du Dallol Bosso (République du Niger). Cahiers de l'ORSTOM, série pédologie, **27**(2) :143–152.
- BOIVIN, P, FAVRE, F.&MAEGHT, J. L. (1998).** Les sols de la moyenne vallée du Sénégal : caractéristiques et évolution sous irrigation. *Etude et gestion des sols*, **5**(4) :

235–246.

- BOURRIE, G. (1975).** L'alcalinité et les équilibres de CO<sub>2</sub> dans les eaux naturelles. Notes techniques de l'institut de géologie,(2).
- BONNARD & GARDEL. (2004) :** Etude d'assainissement des eaux résiduaires, Pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II, rapport final, 83p.
- BABAOUSSMAIL Houcine (2016) :** Etude géochimique de l'aquifère du Mio-Pliocène dans la région de l'oued Righ (Touggourt) ,17p.
- BELLAOUEUR,(2008) :**Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives, 146p.
- Beid-Charreton, Marc(1999-2002) :**le system aquifère du Sahara septentrional , synthèse de la première phase du projet (OSS/SASS), p18
- Cherbuy B, (1991) :** les sols salés et leur réhabilitation. Etude bibliographique, C.E.M.A.G.R.E.F 124 p
- CONDOM,N.,KUPER,M.,MARLET,S.,VALLES,V.&KIJNE, J. (1999) :** Salinization , alkalinization and sodification processes in Punjab (Pakistan). Characterisation of geochemical and physical Processes of soil degradation . Land Degradation and Development, **10**:123–140.
- CHEVERRY, C. (1974) :**Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse de doctorat es science, Strasbourg.
- CHEVERRY, C. et BOURRIE, G., (1998) :** La salinisation des sols. "Sol interface fragile". INRA, Paris: 109-127.
- DAOUD Y. (1993) :** Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux, Thèses Doct d'Eta. INA Alger, 233p.
- Denden M, Bettaieb T, Alef Salhi, Mathlouthi M, (2005) :** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementale. Tropicultura, Article 2005. pp. 220-225.
- Djidel Mohamed, (2008) :** Thèse Doctorat, Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie) ,26-30pp

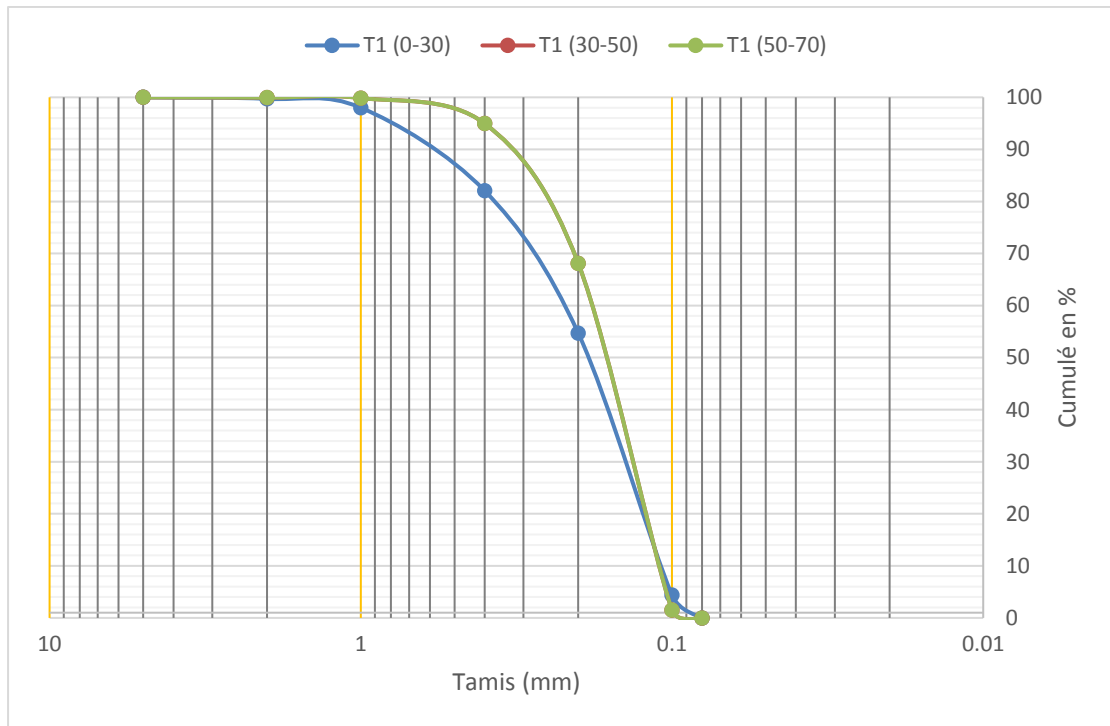


- Duchaufour P, (1977) :** Pédologie. Pédogenèse et classification. Tome 1, Ed. Masson, Paris, 477p.
- DURAND J.H., (1983) :** Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 p
- FAO, (2006) :** Conférence électronique sur la salinisation extension de la salinisation et stratégies de prévention et réhabilitation, organisée et coordonnée par le programme International pour la technologie et la recherché en irrigation et drainage. 12p.
- GLOBE (2014) :** Climat, météo et atmosphère Cahier pédagogique.
- J. RODIER, B. LEGUBE, N. MERLET et coll :** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 9<sup>e</sup> édition- Dunod, Paris, 2009-1529p .(P170, P244,P257)
- J. RODIER, C. BAZIN, J. BROUTIN, P. CHAMBON, H. CHAMPSAURL. RODI, (2005) :** - L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8<sup>ème</sup> Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
- HOOGEMOED, W. B. (1994):** Methods of managing problems in crusting and hard setting soils. Dans: Second international symposium on sealing, crusting, hard setting soils: productivity and conservation, Queensland, Australia.
- HAMMIA Imane (2012) :** Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'Oued Righ, Magister- Université kasdi Merbah- Ouargla- p16.
- HAMDY A, (1995) :** Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne compte rendu. Acad. D'agri. De France action (1).vol 81 (2). Paris. Séance spécialisée du 22 Mars 95, pp : 47- 60
- HALITIM (1988):** Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U., Alger, 384p
- Hullin M, (1983) :** Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. Cours photocopié, Vol. 3, INA, Alger, 139p
- IPTRID. (2006):** Conférence électronique sur la salinisation. Extension de lasalinisation et stratégie de prévention et réhabilitation. p 2, 11.
- KOVDA, V., (1980):** Land aridization and drought control, Boulder West view Press.
- Lamsal K, Gun N, Paudyal, Saeed M., (1999) :** Model for assessing impact of salinity on soif water availability and crop yield. ELSEVIER, Agricultural Water Management 41, 57-70p.

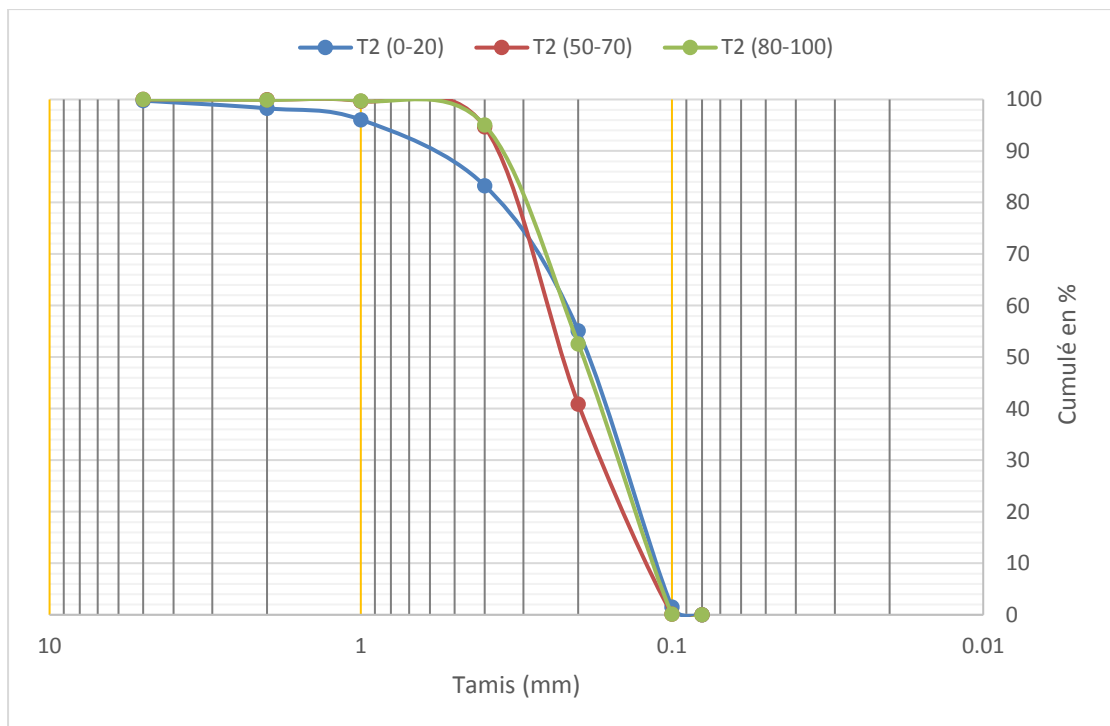
- Marlet et al, (2005)** : Gestion de l'eau et de la salinité et redistribution des sels dans les périmètres irrigués. Congress, Symposium R. 12. International Commission on irrigation and drainage. Beijing. Revue 12- 18p.
- Mermoud. A, (2006)** : Cours physique du sol, Maitrise de la salinité des sols, pp 1-14
- MARLET, S. (1996)**: Alcalinisation des sols dans la vallée du fleuve Niger (Niger).  
Modélisation des processus physico-chimiques et évolution des sols sous irrigation.  
Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 196pp.
- MCNEAL, B.L.&COLEMAN, N. T. (1966)** : Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Science Society America Proceedings, **30** :308–312.
- M'NASSRI S., Majdoub R., Dridi L., Mansour M., Hchicha M., (2013)** : étude de la qualité des eaux souterraines de la région d'ouled chamekh , conférence tunisie
- Nordstrom D. K., Lindblom S., Donahoe R. J., and Barton C. C. (1989)**: Fluid Inclusions in The strip A GRANITE and their Possible influence on the GROUNDWATER CHEMISTRY. Geochim. Cosmochim. Acta 53, 1741-1755.
- Nicolas CONDOM, (2000)** : Analyse et modélisation couplée des processus hydro-géochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols rizicoles irrigués de l'Office du Niger (Mali). P 21-28
- N'DIAYE, M. K. (1987)** : Evaluation de la fertilité des sols à l'Office du Niger (Mali).  
Contribution à la recherche des causes et origines de la dégradation des sols dans le Kouroumari. Thèse de doctorat, INP.
- SERVANT, J. (1986)** : Dynamique des sels à la surface du globe : la salinisation des sols. Dans : Séminaire drainage et salinité/ AFEID (éd.), p. 99–152, Montpellier, France.
- VAN BEEK, C. & VAN BREEMEN, N. (1973)**. The alkalinity of alkali soils. Journal of Soil Science, **24**(1) :129–136.
- SO, H.B.&AYLMORE, L. G. A. (1993)**: How do sodic soils behave? The effects of sodicity on soil physical behaviour. Australian Journal of Soil Research, **31** :761–777.
- SUMNER, M. E. (1993)**: Sodic soils : new perspectives. Australian Journal of Soil Research, **31** :683–750.
- SZABOLCS I., (1994)**: Soils and salinization. In: Pessaraki, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York : 3-11.

- **REZAGI Dj., (2017)** : étude de lessivage des sols salé dans la cuvette de Ouargla, doctorat en hydraulique université de Ouargla
- **Tahar Idder (2007)** : Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration, Article scientifique, p163
- **U. S Salinity Laboratory, (1954)** : Diagnosis and improvement of saline and alcali soil. USDA, Handbook N° 60, Washington, 160p.
- **VALLES, V., N'DIAYE, M., BERNADAC, A.&TARDY, Y. (1989):**  
Geochemistry of waters in the Kouroumari region, Mali; Al, Si, and Mg in waters concentrated by evaporation: development of a model. *Arid Soil Research*, **3**:21–39.
- **VALLES, V. (1985)** : Etude et modélisation des transferts d'eau et de sels dans un sol argileux. Application au calcul des doses d'irrigation. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 146pp.
- **W. kloppmann, A. Bourhan, S. Schomburgk, F. Asfirane (BRGM) 2011 :**  
Salinisation des masses d'eaux en france : du constat au diagnostic, P12
- **Youcfi , (2011)** : Étude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla. Mémoire de Magister. Université de Ouargla, 120.
- **ZID E., GRIGNON C., (1991)** : Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris: 91-108.
- **ZHU J.K., (2001):** Plant salt tolerance. *Trends in plant Sci.* 6: 66-71.

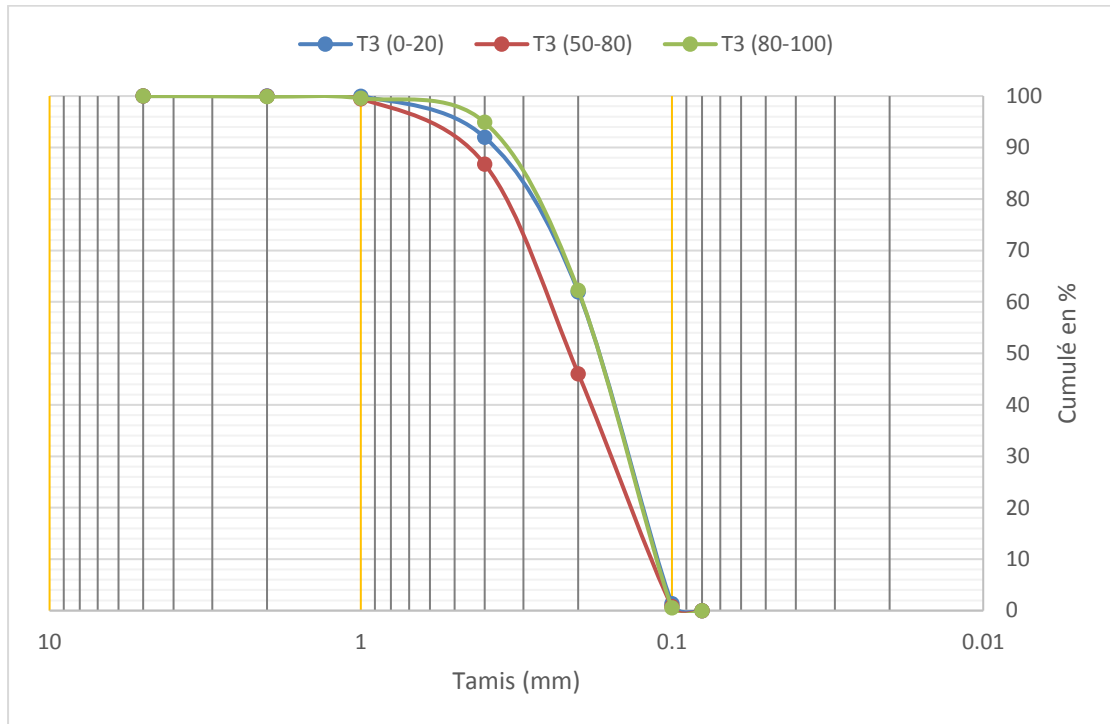
# *Annexes*



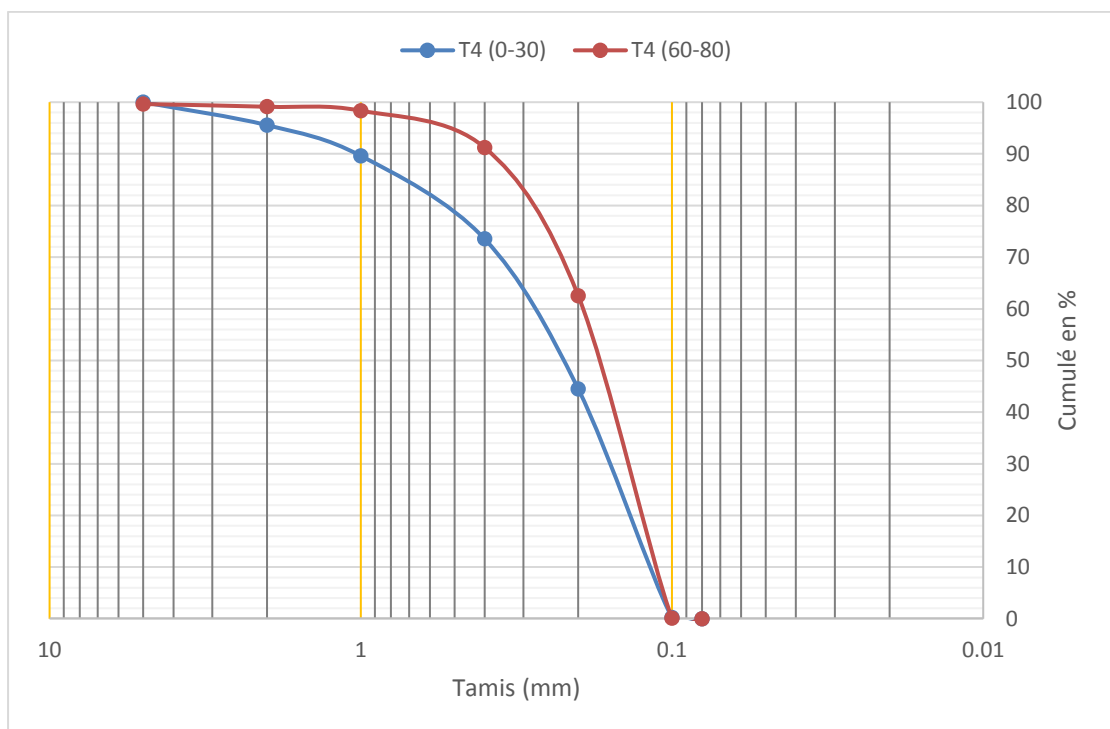
Faciès granulométrique des sables pour le sondage T1



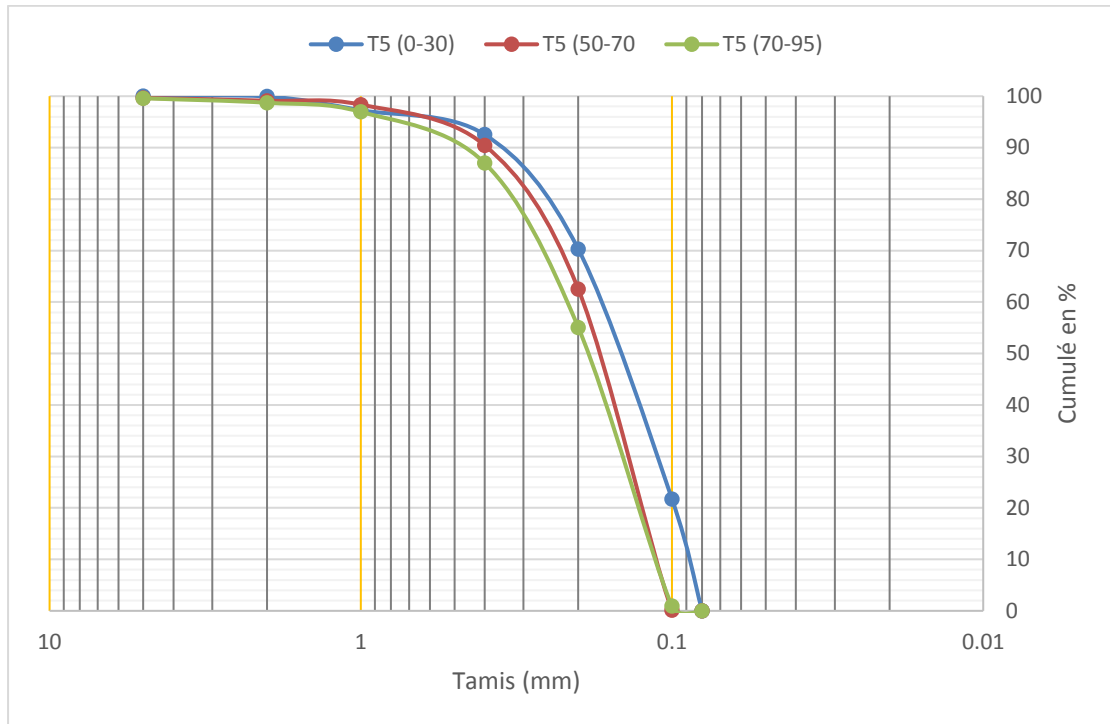
Faciès granulométrique des sables pour le sondage T2



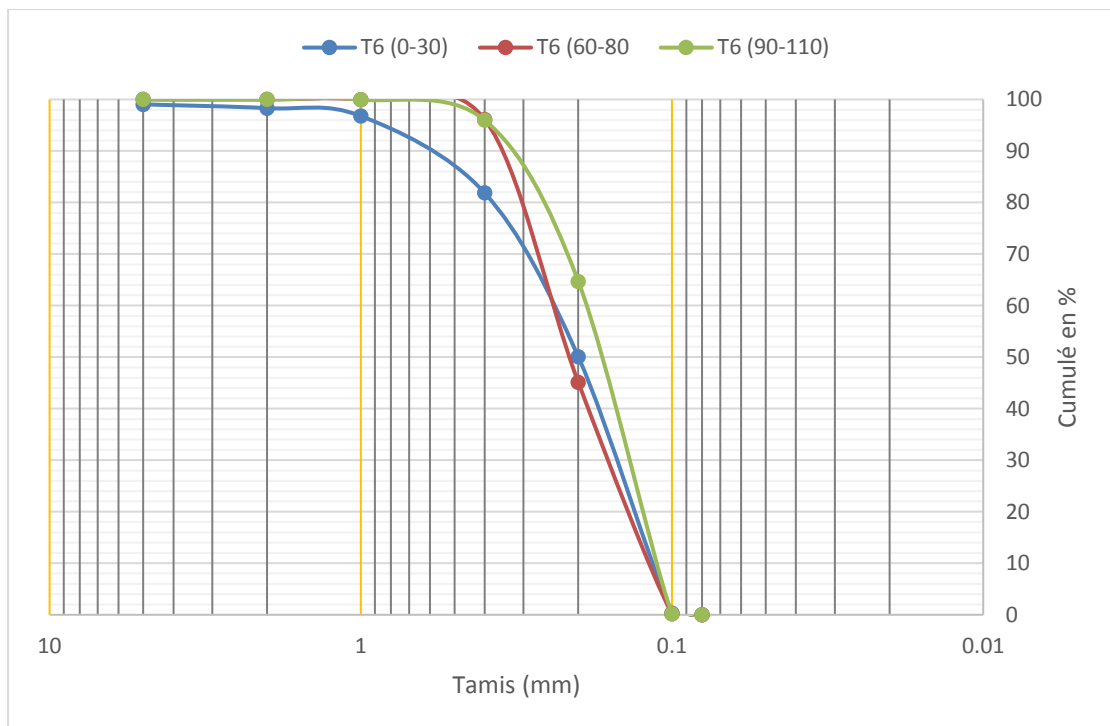
Faciès granulométrique des sables pour le sondage T3



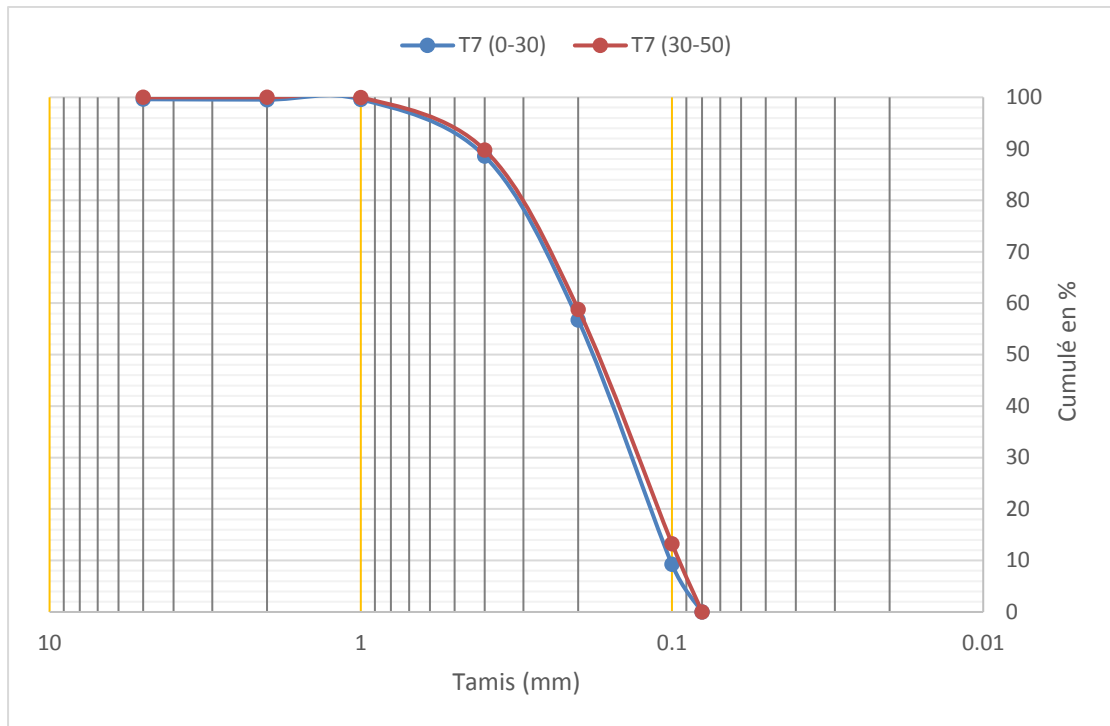
Faciès granulométrique des sables pour le sondage T4



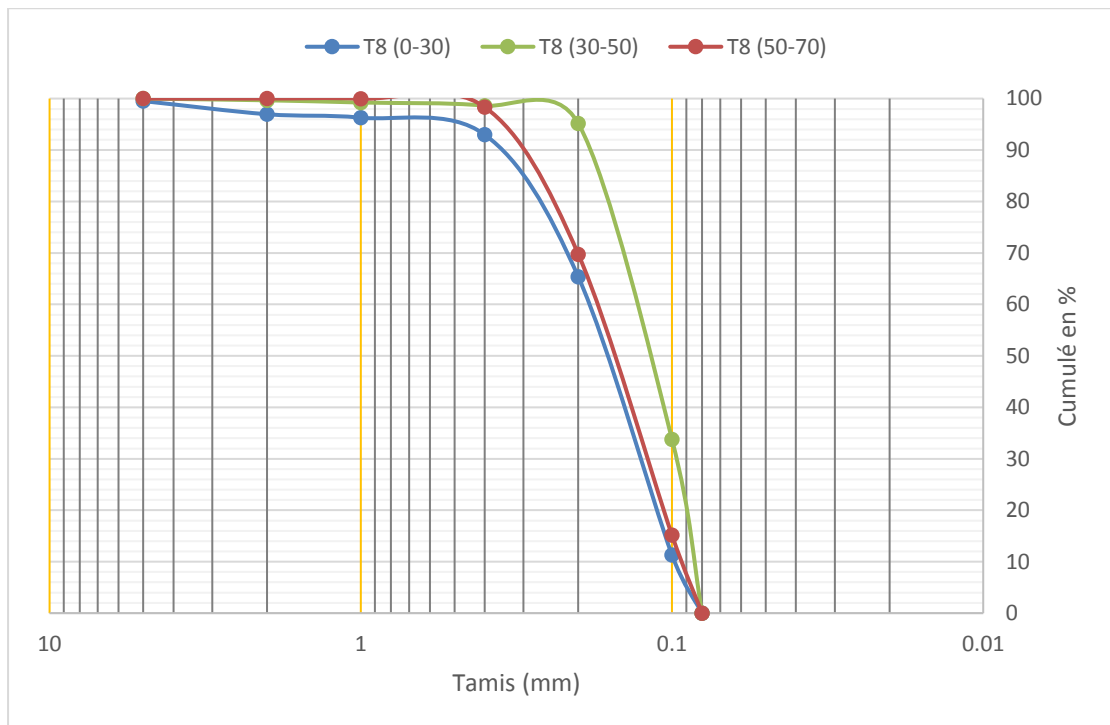
Faciès granulométrique des sables pour le sondage T5



Faciès granulométrique des sables pour le sondage T6

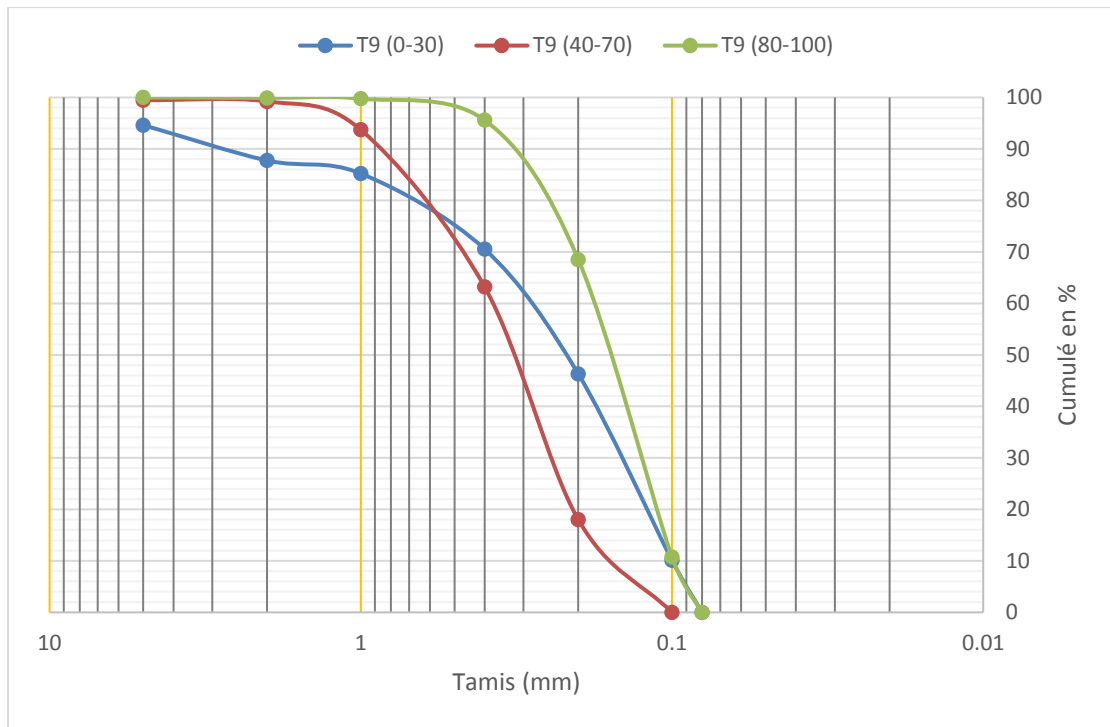


Faciès granulométrique des sables pour le sondage T7

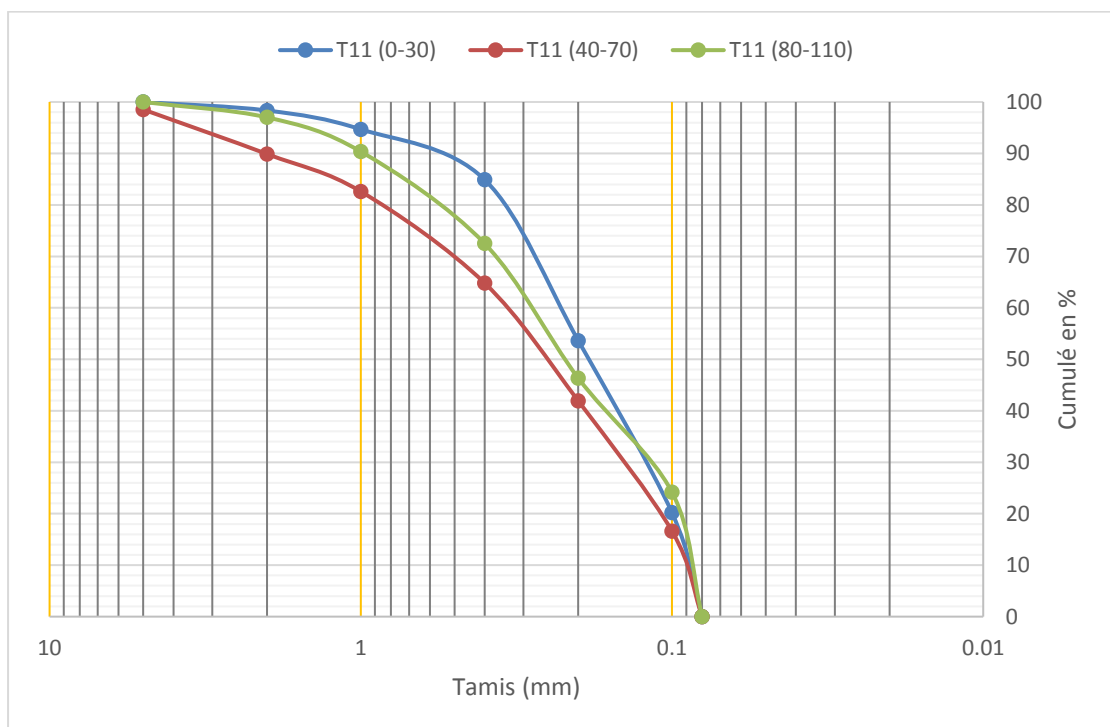


Faciès granulométrique des sables pour le sondage T8

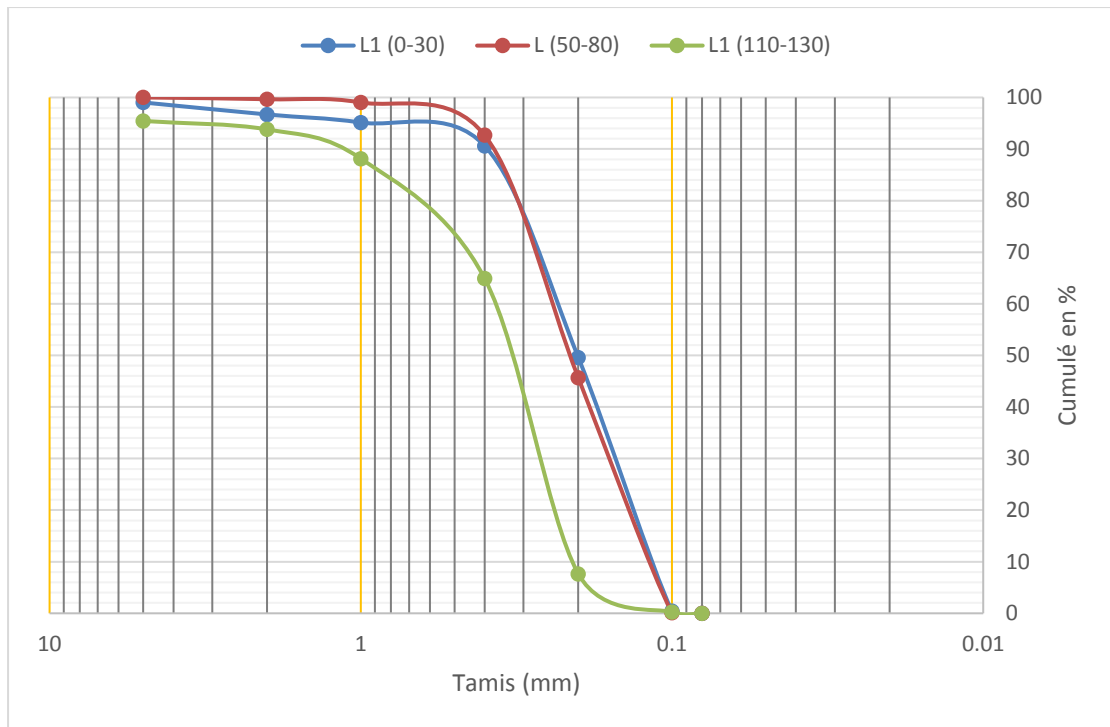




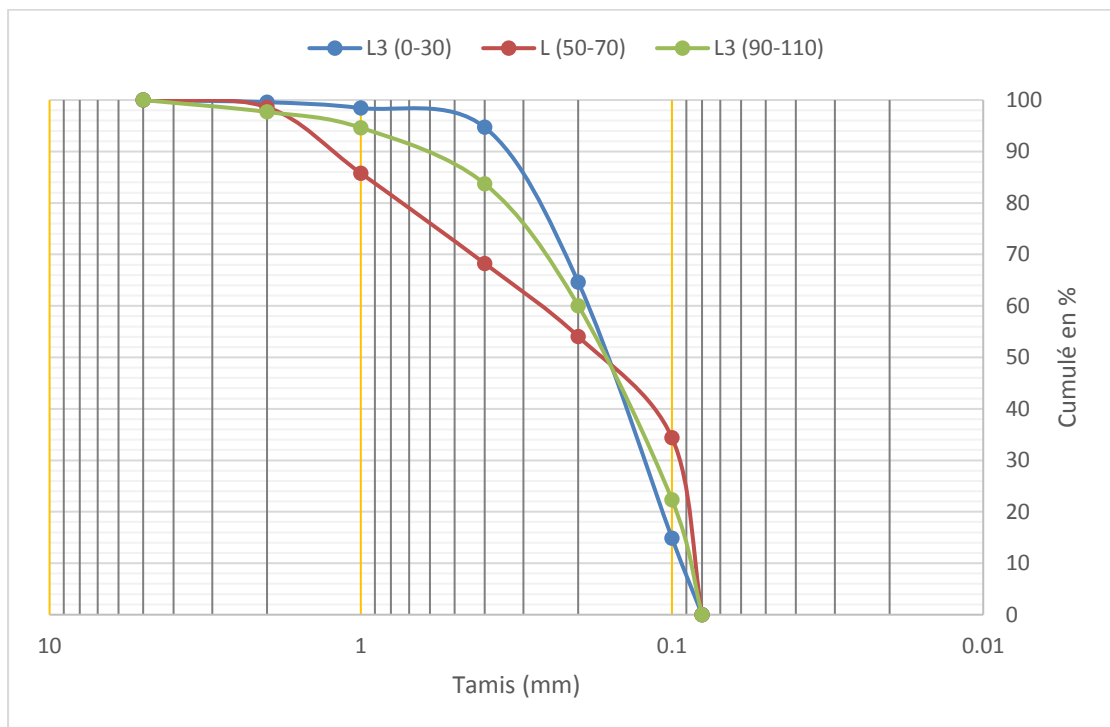
Faciès granulométrique des sables pour le sondage t9



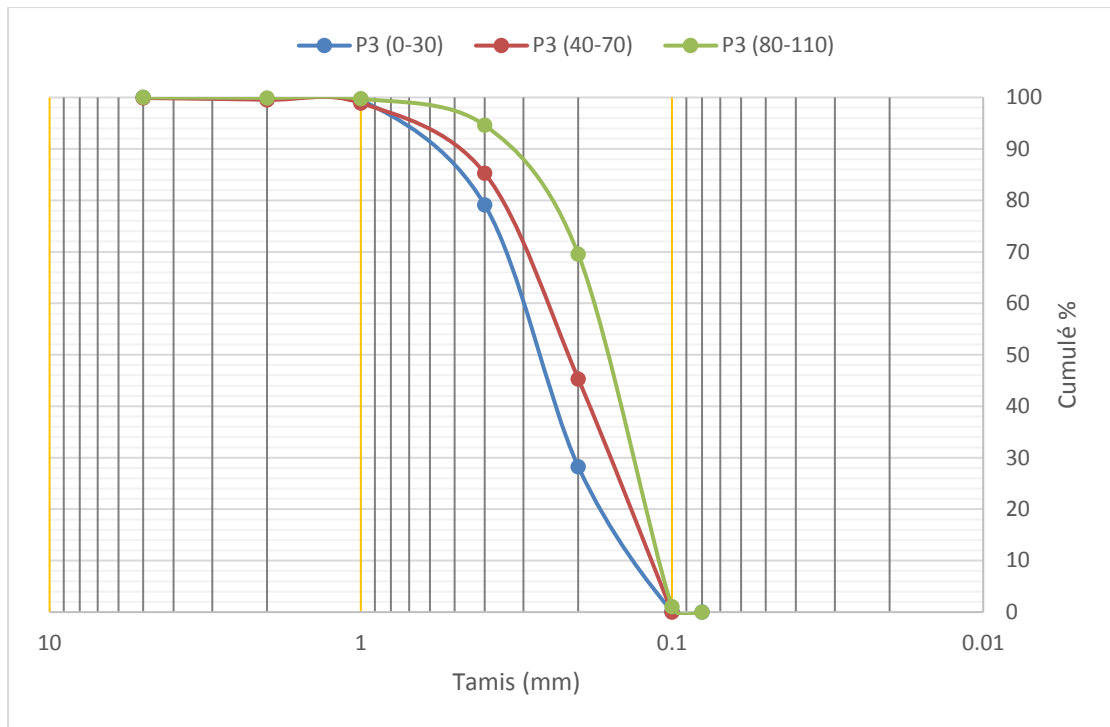
Faciès granulométrique des sables pour le sondage T11



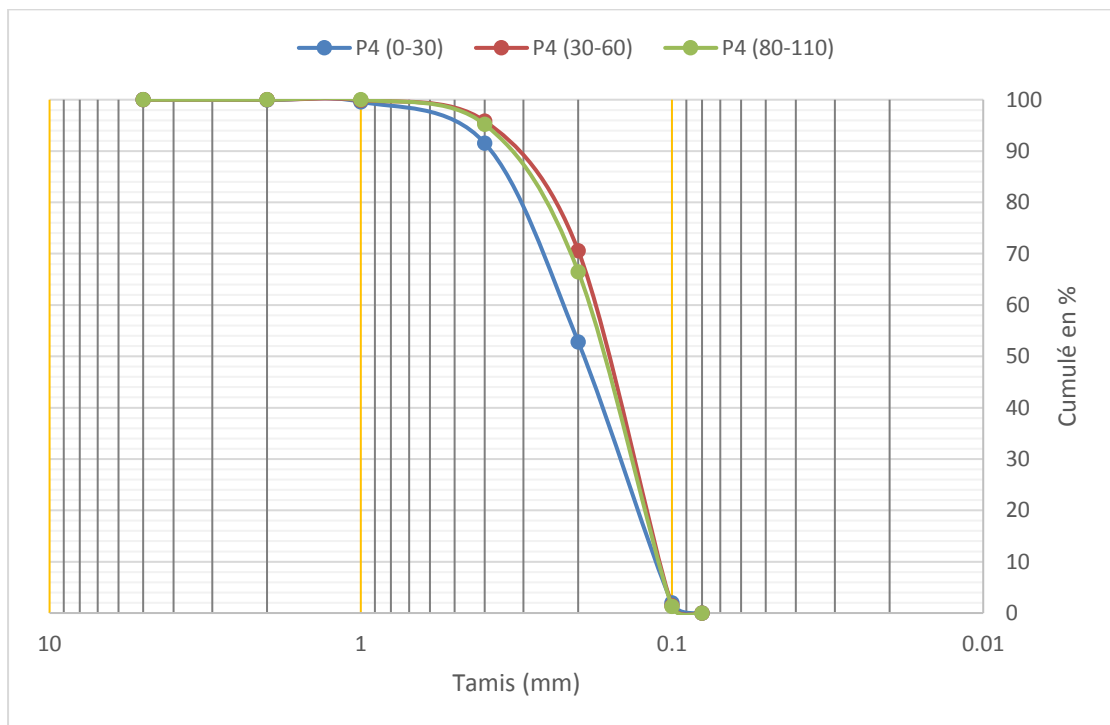
Faciès granulométrique des sables pour le sondage L1



Faciès granulométrique des sables pour le sondage L3



Faciès granulométrique des sables pour le sondage P3



Faciès granulométrique des sables pour le sondage P4

Des photos pendant le prélèvement et durant les analyses d'eau et du sol :









## **Résumé :**

Les ressources hydriques sont confrontées au risque des facteurs d'origines naturelle et anthropique convergents qui affectent leur qualité. Dans ce contexte, la salinisation est l'une des principales causes de la dégradation de la qualité des eaux souterraines. Cette salinisation est de plus en plus accentuée dans les régions arides et semi-arides dont les ressources en eaux douces sont limitées. L'objectif du présent travail est l'étude de l'évolution de la salinité du sol et de la nappe phréatique. Les résultats obtenus ont montré que la salinité des eaux est élevée et variable dans l'espace. La conductivité électrique oscille entre 18.44 et 183.9 mS/cm. Le faciès chimique est chloruré ou sulfaté sodique.

Une augmentation du niveau de la nappe a été constatée entre 2003 et 2018 excepté pour le premier profil où une baisse a été remarquée aussi bien dans le temps que dans l'espace depuis la palmeraie jusqu'au drain. Les valeurs de la conductivité électrique montrent une baisse la salinité de la nappe, pour la plupart des profils entre les deux périodes

**Mots clés :** nappe phréatique, sol, salinité, majeurs, la cuvette de Ouargla. Zone aride, remontée de la nappe

## **Abstract**

Water resources confronted the risk of factors of natural and anthropogenic convergent origins that affect their quality. In this context, salinization is one of the main causes of degradation of groundwater quality. This salinization is more accentuated in arid and semi-arid regions with limited freshwater resources. The objective of this work is to study the evolution of soil and groundwater salinity. The results obtained showed that the salinity of the water is high and variable in space. The electrical conductivity oscillates between 18.44 and 183.9 mS/cm. The chemical facies is chlorinated or sulphated sodium. An increase in the level of the groundwater was observed between 2003 and 2018 except for the first profile where a decline was noticed both in time and in space from the palm grove to the drain. The values of the electrical conductivity show a decrease in the salinity of the groundwater, for most of the profiles between the two periods.

**Key words:** groundwater, soil, salinity, major, Ouargla Basin. Arid zone, rising aquifer

## **ملخص**

واجهت الموارد المائية مخاطر عوامل طبيعية و بشرية التي تؤثر على نوعيتها، تعد الملوحة أحد الأسباب الرئيسية لتدهور نوعية المياه الجوفية. هذه الملوحة أكثر حدة في المناطق الجافة وشبه الجافة أين تكون موارد المياه العذبة محدودة. الهدف من هذا العمل هو دراسة تغيرات ملوحة التربة و المياه الجوفية. أظهرت النتائج أن ملوحة الطبقة المائية السطحية عالية ومتغيرة. قياسات الناقلية الكهربائية تتراوح بين 18.44 و 183.9 ميلسيمانس/سم. السحنة الكيميائية للمياه هي كلور الصوديوم أو كبريتات الصوديوم. لوحظت زيادة في مستوى المياه الجوفية بين عامي 2003 و 2018 باستثناء المظهر الجانبي الأول حيث لوحظ انخفاض مستوى الطبقة المائية من الواحة إلى قناة الصرف. تظهر قيم الناقلية الكهربائية انخفاضاً في ملوحة المياه الجوفية، لمعظم المقاطع الجانبية بين الفترتين.

**الكلمات الرئيسية:** مياه جوفية، تربة، ملوحة، حوض ورقلة، منطقة جافة، ارتفاع منسوب المياه.



