

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH – OUARGLA  
Faculté des sciences de la nature et de la vie  
Département des sciences agronomiques



Mémoire  
MASTER ACADEMIQUE

**Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie  
**Filière** : Sciences Agronomiques  
**Spécialité** : Protection de la ressource Sol, Eau & Environnement

Réalisé par : M<sup>elle</sup> GATTAOUI Halima  
M<sup>elle</sup> ARIBI Ferial

Thème

**Géochimie des sols et des eaux de la nappe  
superficielle de Ouargla**

Soutenu publiquement

Le : 29 /06/2021

Devant le jury :

Mme. SLIMANI	R	M.C .A.	Présidente	UKM Ouargla
M. KHEMGANI	A.M	M.C.B.	Examineur	UKM Ouargla
M. IDDER	A.H	M.C.B.	Encadreur	UKM Ouargla
M. NEZLI	I.E	Pr.	Co-Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2020/2021



## DEDICACES

*A mes chers parents, qui m'ont toujours soutenu,*

*A mes frères et à ma sœur, Et à ceux et celles que j'aime,*

*A mes amies avec qui j'ai partagé des moments inoubliables,*

*A tous ceux qui m'ont appris sincèrement,*

*A tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu un jour.*

*Je dédie ce travail*

*Halima*



## **DEDICACES**

*Je rends grâce à dieu et dédie ce modeste travail à tous ce qui sont proches  
spécialement*

*Je dédie ce modeste travail A ma mère qui m'a éclairée mon chemin et a sacrifiée  
sa jeunesse pour*

*Mon auspice, et pour l'esprit pur et qui m'a encouragé et soutenu ainsi  
A Mon père qui m'a offert tout Ce que j'ai besoin de toute au long de mes études  
ses conseils restent toujours dans ma mémoire et A toute ma famille.*

*JE dédie à mon frère RIAD,*

*Mes Sœurs AFAF, ABLA, SAMIA, à toute la famille ARIBI de  
prés et de loin, aussi que toutes mes amis ASMA, SOUNDOUS, NARIMANE  
, SORAYA, SOMAYA , NOUR EL-HOUDA, MABROUKA , IBTISAM ,  
sans exception .*

*Ferial*

## *REMERCIEMENTS*

*Tout d'abord, je présente mon expression de remerciement à "ALLAH" de m'avoir donné la volonté nécessaire pour étudier et pour ma présence sur la voie du savoir.*

*Je tiens à remercier en particulier mes chers parents qui m'ont beaucoup encouragé tout au long de mes études et qui ont toujours été présent dans les moments difficiles.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements à mes encadreur Mr. IDDER Mohammed Abdelhak et Mr. NEZZI Imed Eddine pour leurs aides et leurs conseils, leurs contribution sur le sujet proposé.*

*Mes vifs remerciements s'adressent à tous les membres du jury, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'examiner ce travail :*

*Mme. Slimani Rabia*

*Mr. Khemgani Abd Elmalek*

# LISTE DES ABRÉVIATIONS

<b>A.N.R.H</b>	: Agence National des <b>R</b> essources <b>H</b> ydriques
<b>A</b>	: Argile (Diamètre : 0-2 $\mu\text{m}$ )
<b>CE</b>	: Conductivité <b>E</b> lectrique
<b>IS</b>	: Indice de <b>S</b> aturation
<b>L</b>	: Limon (Diamètre : 2-50 $\mu\text{m}$ )
<b>ONM</b>	: Office National de <b>M</b> étéorologie
<b>pH</b>	: <b>P</b> otentiel <b>H</b> ydrogène
<b>Sf</b>	: Sable <b>f</b> in (Diamètre : 50-200 $\mu\text{m}$ )
<b>Sg</b>	: Sable <b>g</b> rossier (Diamètre : 200-2000 $\mu\text{m}$ )
<b>SNV</b>	: Science de la <b>N</b> ature et de la <b>V</b> ie
<b>SAR</b>	: Sodium Adsorption <b>R</b> atio
<b>S</b>	: <b>S</b> ondage

## LISTE DES TABLEAUX

<b>N° de tableau</b>	<b>Titre des tableaux</b>	<b>N° de page</b>
<b>01</b>	Moyennes mensuelle des données climatiques de Ouargla (ONM, 2009- 2018).	29
<b>02</b>	Caractérisation analytique du terrain nu naturel. Sondage 1 au niveau de l'exploitation agricole SNV.	42
<b>03</b>	Caractérisation analytique du terrain nu naturel. Sondage 2 au niveau de Mekhadma.	44
<b>04</b>	Caractérisation analytique du terrain nu naturel. Sondage 3 au niveau de Saïd Otba.	46
<b>05</b>	L'indice de saturation des principales phases	57

## LISTE DES FIGURES

N° de figure	Titre des figures	N° de page
<b>01</b>	Situation géographique de la zone d'étude	17
<b>02</b>	Carte de situation de la cuvette de Ouargla	18
<b>03</b>	Carte géologique du Sahara	19
<b>04</b>	Modèle du bilan hydrologique schématique des apports – exhaures à Ouargla	20
<b>05</b>	Carte des ressources en eaux souterraines (CI et CT)	22
<b>06</b>	La carte piézométrique de la nappe superficielle de la basse vallée de l'oued M'ya Ouargla	23
<b>07</b>	Coupe géomorphologique schématique Sud-ouest-Nord-est de la cuvette de Ouargla	26
<b>08</b>	Réseau hydrographique de la cuvette de Ouargla	27
<b>09</b>	Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla	32
<b>10</b>	Diagramme ombrothermique de la station de Ouargla (Période 2009-2018)	33
<b>11</b>	Organigramme montrant les différentes étapes du travail	34
<b>12</b>	Localisation des sites choisis des sondages étudiés	35
<b>13</b>	Concentration des ions dans le sondage 1 au niveau de l'exploitation agricole SNV	47
<b>14</b>	Concentration des ions dans le sondage 2 au niveau de Mekhadma	48
<b>15</b>	Concentration des ions dans le sondage 3 au niveau de Saïd Otba	49
<b>16</b>	Répartition générale des ions dans les sondages 1, 2 et 3	50
<b>17</b>	Variation de pH dans les trois sites étudiés	51
<b>18</b>	Variation de CE horizontalement dans les trois sites étudiés	52

<b>19</b>	Courbe de variation de CE selon la profondeur	52
<b>20</b>	Courbe de variation de CE selon la profondeur	53
<b>21</b>	Courbe de variation de CE selon la profondeur	53
<b>22</b>	Evolution de rapport $[Ca^{2+}]/[Mg^{2+}]$ de l'amont vers l'aval	54
<b>23</b>	Evolution de rapport $[SO_4^{2-}]/[Cl^-]$ de l'amont vers l'aval	54
<b>24</b>	Evolution de rapport $[Na^+]/[Ca^{2+}]$ de l'amont vers l'aval	55
<b>25</b>	Diagramme de Piper de la nappe phréatique des points étudiés	56
<b>26</b>	Variation de l'indice de saturation des minéraux	58
<b>27</b>	Relation entre la CE et l'indice de saturation des minéraux	59



# TABLE DES MATIÈRES

<i>Introduction générale</i> .....	1
------------------------------------	---

## *Chapitre I. Synthèse bibliographique*

I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition de la salinisation .....	3
I.3. Définition des sols salés .....	3
I.3.1. Répartition des sols salés .....	3
I.3.1.1. Répartition des sols salés dans le monde .....	3
I.3.1.2. Répartition des sols salés en Algérie .....	4
I.3.2. Caractéristiques des sols sahariens en Algérie .....	4
I.4. Sels solubles.....	4
I.4.1. Principaux sels solubles .....	4
I.4.2. Classification des sels .....	5
I.5. Processus et mécanismes géochimiques de la salinisation des sols .....	6
I.5.1. Nature des processus géochimiques dans le cas des sols salés .....	6
I.5.1.1. Précipitation-dissolution des minéraux dans les sols salés .....	6
I.5.1.2. Echanges cationiques.....	7
I.5.1.3. Processus d'oxydo-réduction .....	8
I.6. Nappe superficielle (phréatique).....	8
I.6.1. Modes d'alimentation des nappes phréatiques.....	8
I.6.2. Remonté des eaux phréatiques .....	8
I.6.3. Méthodes d'étude des nappes phréatiques.....	9
I.7. Caractéristiques des eaux phréatiques.....	9
I.7.1. Salinité globale .....	9
I.7.2. Sodicit� .....	9

I.7.3. Faciès chimique .....	9
I.8. Effet des nappes sur la salinisation des sols .....	10
I.9. Synthèses bibliographiques des travaux antérieurs sur la thématique .....	11
I.10. Conclusion .....	16

## ***Chapitre II. Présentation de la région d'étude***

II.1. Introduction .....	17
II.2. Localisation géographique .....	17
II.3. Contexte Géologique .....	19
II.4. Contexte Hydrogéologique.....	20
II.4.1. Continental Intercalaire (CI) .....	20
II.4.2. Complexe Terminal (CT).....	21
II.4.3. Nappe superficielle ou nappe phréatique.....	22
II.5. Contexte géomorphologique .....	24
II.6. Contexte hydrographique .....	26
II.6.1. Oued M'ya:.....	26
II.6.2. Oued N'sa et Oued M'Zab :.....	26
II.7. Contexte pédologique .....	27
I.8. Contexte climatique .....	28
II.8.1. Données climatiques.....	28
II.8.1.1. Températures .....	28
II.8.1.2. Précipitations .....	29
II.8.1.3. Humidité relative .....	30
II.8.1.4. Evaporation.....	30
II.8.1.5. Insolation .....	30
II.8.1.6. Vent .....	30
II.8.2. Caractérisation du climat .....	31

II.8.2.1. Indice d'aridité de Martonne (I <sub>M</sub> ) .....	31
II.8.2.2. Quotient pluviothermique d'Emberger .....	31
II.8.2.3. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN.....	32
II.9. Conclusion.....	33

### ***Chapitre III. Matériel et méthodes***

III.1. Introduction.....	34
III.2. Sélection des sites étudiés .....	35
III.3. Présentation des sites étudiés .....	36
III.3.1. Exploitation agricole SNV.....	36
III.3.2. El Mekhadma .....	36
III.3.3. Saïd Otba .....	36
III.4. Matériel utilisé.....	36
III.4.1. Au niveau de terrain .....	36
III.4.2. Au laboratoire .....	37
III.5. Méthodes d'étude .....	37
III.5.1. Sur terrain .....	37
III.5.1.1. Echantillonnage .....	37
III.5.2. Au laboratoire .....	37
III.5.2.1. Analyses physiques.....	38
III.5.2.2. Analyses physico-chimiques .....	38
III.5.2.3. Analyses chimiques .....	38
III.5.3. Traitement des données .....	39
III.5.3.1. Phreeqci, v, 2.15 (Parkhurst and Appelo, 1999 in NEZLI, 2009).....	39
III.5.3.2. Diagramme de Piper .....	40

### ***Chapitre IV. Résultats et discussions***

IV.1. Introduction.....	41
IV.2. Caractérisation morphologique et analytique du sol.....	41

IV.2.1. Caractérisation morphologique et analytique de sondage 1 .....	41
IV.2.2. Caractérisation morphologique et analytique de sondage 2 .....	43
IV.2.3. Caractérisation morphologique et analytique de sondage 3 .....	45
IV.3. Répartition des concentrations ioniques .....	47
IV.3.1. Répartition ionique de sondage 1 au niveau de l'exploitation agricole .....	47
SNV .....	47
IV.3.2. Répartition ionique de sondage 2 au niveau de Mekhadma .....	48
IV.3.3. Répartition ionique de sondage 3 au niveau de Saïd Otba .....	49
IV.3.4. Répartition générale des ions dans les sondages 1, 2, 3.....	50
IV.4. Paramètres physico-chimiques.....	50
IV.4.1. pH.....	50
IV.4.2. Conductivité électrique (C.E) .....	51
IV.4.2.1. Salinisation horizontale.....	51
Figure 18. Variation de CE horizontalement dans les trois sites étudiés. ....	52
IV.4.2.2. Salinisation verticale.....	52
IV.5. Evolution des rapports inter-éléments de l'amont à l'aval .....	53
IV.5.1. Evolution de rapport $[Ca^{2+}] / [Mg^{2+}]$ de l'amont à l'aval .....	53
IV.5.2. Evolution de rapport $[SO_4^{2-}] / [Cl^-]$ de l'amont à l'aval.....	54
IV.5.3. Evolution de rapport $[Na^+] / [Ca^{2+}]$ de l'amont à l'aval.....	55
IV.6. Faciès géochimique des eaux.....	55
IV.7. Géochimie des sels et des solutions .....	56
IV.7.1. Indice de saturation .....	56
IV.7.2. Evolution des indices de saturation des phases de l'amont à l'aval .....	57
IV.7. 3. Relation entre la CE et l'IS des minéraux prépondérantes (Anhydrite, Aragonite, Calcite, Gypse, Halite).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
IV. 8. Conclusion .....	59
<b><i>Conclusion générale</i></b> .....	<b>60</b>
<b><i>Références bibliographiques</i></b> .....	<b>61</b>



---

*INTRODUCTION*  
*GÉNÉRALE*

---

## *Introduction générale*

Plus de deux millions de km<sup>2</sup> de la superficie totale de l'Algérie (87%) se trouvent dans le Sahara. Ce dernier est l'une des régions les plus chaudes et les plus arides du monde. La plus grande partie de ce vaste territoire est occupée par de grands paysages représentés par des regs, des ergs, des hamadas, des sebkhas, des chotts et des oueds (DJILI ,2018).

Dans les régions arides, les sols d'une manière générale posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des accumulations calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujet à l'érosion et à une salinisation secondaire (AUBERT, 1960).

La salinisation, l'un des plus importants phénomènes qui causent la dégradation du sol, c'est la concentration du taux de sels de sodium par exemple, anormalement élevé dans les sols en raison de l'évaporation.

Les sols de la région de Ouargla, sont parmi les sols affectés par les sels. Cette salinité est due à de multiples facteurs: l'aridité du climat, la remontée des eaux de la nappe phréatique qui nécessite une bonne gestion de l'irrigation-drainage etc (IDDER, 2006).

Les ressources en eaux souterraines de la région de Ouargla, sont contenues dans trois réservoirs principaux. En haut, la nappe phréatique, au milieu, l'aquifère du complexe terminal (CT) et à la base, l'aquifère continental intercalaire (CI) (GUENDOOUZ *et al.*, 1992).

La nappe phréatique, qui imprègne le matériau pédologique, se situe à faible profondeur sous la surface du sol et joue, par son caractère fortement salin, un rôle très important dans le phénomène de salinisation des sols (IDDER *et al.*, 2014). Pour cela, ce travail s'intéresse à l'ensemble constitué particulièrement par le système sol nu salé et la nappe.

L'objectif de notre travail, vise à la caractérisation géochimique des sols et des eaux de la nappe superficielle de Ouargla, ainsi qu'à la mise en évidence de l'ordre de précipitation des sels en utilisant le modèle thermodynamique PHREEQC à 25 °C.

Cette étude comporte quatre parties :

**Première partie :** synthèse sur la présentation globale de la région d'étude.

**Deuxième partie :** est réservée à une synthèse bibliographique sur les sols salés et la nappe superficielle ainsi que les travaux antérieurs réalisés sur les problèmes de salinité dans les terrains nus.

**Troisième partie :** nous présenterons le matériel et les méthodologies de travail.

**Quatrième partie :** est consacrée à l'interprétation et à la discussion des résultats obtenus en utilisant le modèle géochimique (PHREEQC).

En fin une conclusion générale est établie pour ressortir l'apport de notre approche.



---

---

# *CHAPITRE I*

---

---

*Synthèse bibliographique*

## I.1. Introduction

D'après IDDER (2006), le sol est la partie supérieure de la lithosphère transformée par la présence et les actions conjuguées de l'hydrosphère, et de la biosphère.

Les sols de la cuvette de Ouargla sont caractérisés par l'excès d'eau et des sels liés à la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol, et cette dernière joue, par son caractère fortement salin, un rôle très important dans le phénomène de salinisation. Cette nappe se comporte alors, sous l'effet des remontées capillaires et de l'évaporation, comme un véritable réservoir de diffusion de sels à travers tout le profil pédologique (IDDER et al., 2013).

## I.2. Définition de la salinisation

La salinisation est une résultante globale de plusieurs processus géochimiques et hydrologiques qui se produisent dans les sols. Ces processus dépendent de l'environnement physique et bio-géo-chimique, et des pratiques hydro-agricoles (AUBERT, 1983 ; HAMDIAISSA, 2001).

Le terme de salinité se rapporte à la présence des principaux solutés inorganiques dissous (essentiellement des ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ ) dans des échantillons aqueux. La salinité est quantifiée en termes de la concentration totale de ces sels solubles, ou plus concrètement, en termes de conductivité électrique de la solution, parce que les deux sont étroitement liés (USSSL, 1954).

## I.3. Définition des sols salés

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles-plus solubles que le gypse-ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure, qu'ils rendent diffuse (BAIZE, 1988).

### I.3.1. Répartition des sols salés

#### I.3.1.1. Répartition des sols salés dans le monde

Les sols salés dans le monde occupent des proportions importantes des terres agricoles. Leur distribution géographique se superpose presque entièrement à celle des zones arides et semi-arides du globe (DURAND, 1983).

### I.3.1.2. Répartition des sols salés en Algérie

En Algérie, dans sa globalité, les sols agricoles sont, dans leurs majorités, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1958). Ils trouvent aussi une grande extension dans les régions Sahariennes (Biskra, Touggourt, Ouargla et d'autres). Leur conductivité électrique est supérieure à  $7 \text{ dS.m}^{-1}$  sur l'ensemble du profil et le pourcentage du sodium échangeable sur la capacité d'échange cationique (C.E.C.) est variable de 5 à 60 % (AUBERT, 1975).

### I.3.2. Caractéristiques des sols sahariens en Algérie

Selon DAOUD et HALITIM (1994), le type aridique est incontestablement la particularité des sols sahariens. Cette aridité se traduit par la réduction, si non l'impossibilité de cultiver à notre convenance. La violence des vents, l'agressivité des minéraux, la forte salinité et sodicité des sols, la pauvreté de la fraction organique et argileuse, l'halomorphie et l'hydromorphie, tels, sont les caractéristiques physiques morphologiques et chimiques des sols sahariens.

## I.4. Sels solubles

Un sel est un produit de neutralisation d'un acide par une base (GAUCHER et al., 1974).

### I.4.1. Principaux sels solubles

Selon AUBERT (1975), HALITIM (1988), trois principaux groupes de sels solubles ont été distingués dont :

– **Sels Chlorurés :**

- Le chlorure de sodium (**Na Cl**) : c'est la forme la plus répandue avec le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ), c'est un composant typique des sols salés. C'est un sel hautement toxique.
- Le chlorure de potassium (**K Cl**) : c'est un sel voisin du Na Cl, mais peu répandu.
- Le chlorure de calcium (**Ca Cl<sub>2</sub>**) : généralement, c'est un sel qui réagit avec  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pour former du  $\text{CaSO}_4$  ou  $\text{CaCO}_3$  peu soluble.
- Le chlorure de magnésium (**MgCl<sub>2</sub>**) : c'est un sel relativement rare, sauf dans des cas de forte salinité. Fait de lui un sel de toxicité extrêmement élevée (HULIN, 1983).

– **Sels Carbonatés :**

- Le carbonate de magnésium (**Mg CO<sub>3</sub>**) : sa solubilité est plus élevée, il réagit avec H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pour former Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> augmentant aussi sa solubilité.
- Le carbonate de sodium (**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**) : c'est un sel très toxique à la fois par sa solubilité et par son alcalinité.
- Le carbonate de potassium (**K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**) : ses effets sont pratiquement identiques à ceux de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Il est extrêmement rare de le trouver en grande quantité (FAO/UNESCO, 1967)

– **Sels sulfatés :**

- Le Gypse (**CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O**) : est la forme la plus répandue, est un sel peu dangereux du fait de sa faible solubilité (1,9 g/l). Sa seule action néfaste pour une culture, pourrait plutôt être de type mécanique. Il est utilisé comme amendement pour l'amélioration de certains sols alcalins.  
Dans certaines régions, caractérisées par un climat chaud (le Chili, le Sahara), le gypse (CaSO<sub>4</sub>2H<sub>2</sub>O) devient déshydraté et se transforme en une masse poudreuse.
- Les sulfates de magnésium (**MgSO<sub>4</sub>**) : c'est un composant typique des sols salés, on le trouve souvent présent dans les eaux souterraines, sa solubilité est très élevée et dès lors, il est toxique.
- Les sulfates de sodium (**Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**) : son action dépend de la saison. En effet, sa toxicité peut être légèrement limitée par la température qui influe assez fortement sa solubilité.
- Les sulfates de potassium (**K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**) : c'est un sel très proche de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> il se trouve en très faible quantité dans le sol (FAO/UNESCO, 1967).

#### **I.4.2. Classification des sels**

Les sels sont classés en fonction de :

- **La solubilité**

- Sels très solubles (plus de 100g/l à 25°C): MgCl<sub>2</sub>, NaCl, MgSO<sub>4</sub>, KCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ;
- Sels à forte solubilité : (100g/l à 25°C) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ; et
- Sels à faible solubilité (moins de 100g/l à 25°C) : CaCO<sub>3</sub>, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (PASCAL, 1962 in HALITIM ,1973).

- **La mobilité**

Les sels ont une mobilité variable et en général les chlorures sont plus mobiles que les sulfates, avec l'ordre de grandeur suivant (PASCAL, 1962 in HALITIM, 1973) : NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>.

## **I.5. 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.5.1. Nature des processus géochimiques dans le cas des sols salés**

#### **I.5.1.1. 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 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 (BOURRIE, 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).

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.5.1.2. Echanges cationiques**

#### **I.5.1.2.1. 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 (DJAMAI, 2007).

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 & AYLMOORE, 1993) des sols ou la formation de croûtes superficielles (SUMNER, 1993 ; HOOGEMOED, 1994) en sont les manifestations macroscopiques (CONDOM, 2000).

### **I.5.1.3. 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) (DJAMAI, 2007).

## **I.6. Nappe superficielle (phréatique)**

D'après GAUCHER et al. (1974) in BENMOUAFFEKI ( 2011), les nappes phréatiques sont des accumulations d'eau généralement superficielles possédant des réserves suffisantes pour se maintenir pendant la saison sèche, au cours des années dont la pluviométrie est moyenne.

### **I.6.1. Modes d'alimentation des nappes phréatiques**

Les régions à sols salés se rencontrent le plus souvent sous climats arides ou semi- arides dont les précipitations sont nettement inférieures à l'évaporation ou à l'évapotranspiration et pour que les réserves phréatiques puissent se créer, il est nécessaire qu'interviennent d'autres modes d'alimentation en eau.

D'après GAUCHER et al. (1974), ces modes sont:

- Le rassemblement et l'accumulation des eaux de ruissellements dans les formes de reliefs en cuvette, où elles s'infiltrent vers les nappes.
- Les infiltrations qui se produisent dans le lit des cours d'eau principaux ou permanents.
- Les inondations qui recouvrent partiellement ou entièrement les zones basses lors des périodes de fortes précipitations.
- Dans les zones où l'irrigation est pratiquée, il faut tenir compte des arrosages excessifs.

### **I.6.2. Remonté des eaux phréatiques**

La remonté capillaire est un phénomène qui reste limité dans l'espace ; elle dépend beaucoup de la perméabilité des sols et par conséquent de leur granulométrie et de leur

structure. Ainsi, parmi les facteurs les plus importants qui sont à l'origine de la saturation et salinisation des sols par la remontée capillaire, on trouve l'aridité du climat à laquelle s'ajoutent la géomorphologie, la topographie et l'hydrologie du terrain, les caractéristiques physico-chimique du sol (structure, texture...etc.), les techniques d'aménagement des sols et des eaux (HAROUNA, 2001 in ABBANI et ABDE-LALI, 2005).

La remontée des eaux phréatiques est un problème qui résulte du déséquilibre entre le volume d'eau apporté et celui évacué dans le milieu (SAIS, 2006).

### **I.6.3. Méthodes d'étude des nappes phréatiques**

D'après (l'A.N.R.H. 2000 in BENMOUAFFEKI, 2011), trois sortes de renseignements sont utiles dans l'étude des nappes en vue de l'amélioration des sols salés:

- La profondeur de l'eau par rapport au sol, qui permet de préciser les fluctuations des niveaux des nappes phréatiques.
- La piézométrie de la nappe, qui donne le sens d'écoulement des eaux.
- Les données des variations chimiques de l'eau.

## **I.7. Caractéristiques des eaux phréatiques**

### **I.7.1. Salinité globale**

La salinité d'une eau, ou teneur en matière soluble, peut s'exprimer facilement par sa conductivité électrique à 25 degrés Celsius (CE 25 ° C) ; en effet, il existe une relation simple liant la conductivité d'une solution à sa teneur en cations ou anions exprimés en milli valences (méq) (BOUKHRIS, 2012).

### **I.7.2. Sodicit **

La sodicité d'une eau traduit la propriété qu'à cette eau pour modifier la proportion des cations échangeables d'un sol et en particulier d'augmenter la proportion de sodium, le paramètre le plus connu est le SAR (SERVANT, 1978).

### **I.7.3. Faci s chimique**

L'accroissement de la salinité est attribué aux processus de dissolution mise en évidence par l'augmentation des teneurs en  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Na^+$ . Les aquifères sont directement rechargés par des précipitations locales et l'eau douce se mélange progressivement aux eaux salées (ROUAHNA, 2007).



Selon SERVANT (1978). Le faciès chimique représente la / les anion (s) et cation (s) prédominant dans l'eau ou dans la solution du sol. Les principales méthodes pour le faciès sont :

- Le rapport  $Cl^- / SO_4^{2-}$  pour les anions.

Lorsque le rapport  $Cl^- / SO_4^{2-}$  est :

- Supérieur à 5 : eau chlorurée.
- De 1 à 5 : eaux chlorurées - sulfatée.
- De 0.2 à 1 : eau sulfatée - chlorurée.
- Moins de 0.2 : eau sulfatée.

### I.8. Effet des nappes sur la salinisation des sols

D'après KUST (1997) montre que la répartition des sels dans le profil est régie par :

- Le niveau des eaux souterraines
- La durée de la sécheresse

YOU et al (1992) suggèrent que l'accumulation des sels en surface dépend de la profondeur de la nappe de la texture du sol.

Dans une étude sur le périmètre de Kalaât Landelouse (Tunisie), HACHICHA et al (1997) montrent les résultats suivants : - Les profils salins sont faiblement salés et descendants pour certains et à accumulation de sels vers 1 m de profondeur pour d'autre.

D'après Bach Hamba (1992), les faciès géochimiques sont chlorurés sodiques à chlorurosulfatés calciques et sodiques.

- La salinité de la nappe et celle du sol sont hautement corrélées en profondeur et faiblement en surface.
- A proximité de la nappe, le sol s'enrichit en chlorure et en sodium. Néanmoins, les solutions possèdent une réserve en gypse leur évitant la sodisation, l'horizon superficiel se déstalinise en hiver.
- Le fonctionnement des sels avant leur mise en eau est tributaire d'une part du régime de la nappe et d'autre part de l'effet lixiviant des pluies (HACHICHA et al, 1997).

## I.9. Synthèses bibliographiques des travaux antérieurs sur la thématique

La salinité des sols et des eaux de la nappe superficielle (phréatique) de la cuvette de Ouargla a fait l'objet de diverses études.

Au cours des dernières décennies, les études ont ciblé surtout sur l'aspect d'analyses physiques, chimiques et géochimiques des sols.

- L'étude de NEZLI et al. (2007), a porté sur l'évolution géochimique de la salinité des eaux de la nappe phréatique par une simulation des concentrations en ions majeurs sous l'effet de l'évaporation isotherme (25°C).

Les résultats obtenus montrent que les eaux issues de l'altération des roches essentiellement évaporitiques ont un faciès chloruré sodique, et appartiennent à la voie saline neutre, ce qui peut conduire à la sodisation des sols dans cette région.

- La publication de IDDER et al. en (2012), qui concerne les précipitations et les accumulations salines estivales dans les sols nus sableux en zones arides.

Cette étude, expérimentée en période estivale, a concerné un sol excessivement salin à texture sableuse aggravée par le non fonctionnalité du réseau de drainage.

Dans le but d'aboutir à une caractérisation physique, chimique et biologique de ce sol, d'une part, et d'identifier l'ordre des précipitations salines majoritaires, d'autre part.

L'approche géochimique, grâce à un modèle thermodynamique, a mis en évidence pour les trois profils examinés ; la voie saline neutre en considérant l'ion chlore comme traceur stable le mieux approprié aux évaporites.

Il a été montré en outre qu'à partir de log facteur de concentration ( $\log F_c \leq 0,2$ ), toutes les calcites sont sursaturées, d'où leur précipitation prioritaire surtout sur les horizons de surface : P1H0, P2H0 et P3H0.

Cette précipitation calcique est attestée par des valeurs de  $\text{pH} > 8,5$ .

Il s'agit essentiellement de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), de la magnésite ( $\text{MgCO}_3$ ) et de la dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

Concernant les solutions sulfatées, les précipitations sont constatées à partir de  $\text{FC} = 1,24$ , soit pour des concentrations en ions chlorures supérieures à 280 méq/l et en sulfates dépassant

324 méq/l. Concernant les minéraux solubles, l'halite (NaCl) semble le minéral le plus proche de la saturation.

- L'étude de BOUKHRIS en (2012), qui s'intéresse à des caractérisations géochimiques des eaux de la nappe phréatique et les processus de précipitations de sels dans les parcelles non cultivées (parcelles nus) le sens d'écoulement de ces eaux est orienté du sud vers le nord.

Les principaux résultats obtenus après l'échantillonnage et analyse physicochimique des cas de la nappe phréatique, grâce au traitement par logiciel thermodynamique (PHREEQCI) utilisé pour calculer l'indice de saturation des minéraux sont :

- Les eaux phréatiques de notre région d'étude sont extrêmement salées leurs Conductivité électrique dépassant 25.7 ds/m pouvant atteindre 171.9 ds /m. La CE et le Résidu sec augmentent avec le sens l'écoulement de la nappe c'est - à - dire suivant la direction sud-nord. Le pH varie entre 8.28 et 6.46 au dernier point P14. L'indice de sodicité (SAR) est de l'ordre de (17.57) en moyenne.
- D'après la comparaison des concentrations des éléments chimiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) .  $\text{Na}^+$  est l'élément dominant pour les cations et  $\text{Cl}^-$  pour les anions, ce qui confère donc le facies géochimique dominant chloruré sodique. La sensibilité des minéraux carbonatés à la précipitation est commandée par l'indice de saturation montrant l'équilibre les minéraux carbonates avant les minéraux gypsifères.

Les eaux de la nappe phréatique appartenant généralement à la classe C5 S4 (salinité excessive), présentant un danger d'alcalinisation fort pour le sol.

- L'étude de l'indice de saturation ( IS ) des composantes Halite , Anhydrite , Aragonite , Calcite et gypse et leur relation avec le pH montre que la dissolution des formations gypseuses est due à l'augmentation de l'alcalinisation de ces eaux d'une part et d'autre part à la précipitation de l'Aragonite , Calcite et de la dolomite.
- La publication de IDDER et al. (2013), a porté sur l'action des eaux des nappes superficielles sur les propriétés d'un sol sableux non cultivé de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional algérien).

Un suivi de la qualité des eaux superficielles a été entrepris dans une parcelle naturellement nue, sans actions anthropiques et sans possibilités de vidange dans le réseau de drainage.

Les principaux résultats des conductivités électriques obtenus dans trois profils explorés : 14,84, 24,18 et 25,31 (dS/m) montrent une évolution de la salinité selon une toposéquence diagonale orientée Sud/Nord. Cette orientation est similaire au sens de l'écoulement des eaux souterraines.

Ces valeurs des conductivités électriques sont nettement supérieures à la limite standard de seuil de salinité qui est de 3 dS/m, d'où leur appartenance à la classe C5-S3.

Par ailleurs, le faciès général chimique est chloruré sodique et ce pour les trois profils examinés.

- L'étude de AISSANI et al. en (2013), qui concerne à la caractérisation hydrogéochimique des eaux de la nappe phréatique et leur lithologie à partir des différentes analyses physico-chimiques sur les eaux et à la détermination de la minéralogie du sol.

Les résultats obtenus montrent que, les eaux de la nappe phréatique est de faciès chloruré sodique. Les valeurs des indices de saturation indiquent que ces eaux sont sursaturées vis-à-vis des minéraux carbonatés et évaporitiques.

En présence des kaolinites et des illites aucun échange de base n'a été trouvé en raison de leur faible capacité d'échange.

L'eau des sables dans la région étudiée sont plus chargées en sels (SO<sub>4</sub>, Cl, Na, Mg, Ca).

- La publication de IDDER et al. (2016), s'intéresse à la caractérisation géochimique de la nappe superficielle et à l'examen des processus de précipitation des sels dans une parcelle à texture sableuse non cultivée située dans l'oasis de Ouargla.

Les résultats obtenus montrent que les eaux de cette nappe possèdent une salinité extrêmement élevée attestée par des valeurs de conductivités électriques qui varient, d'amont en aval du sens d'écoulement, de 25,7 dS /m à 171,9 dS/m.

Par ailleurs, les résultats des analyses anioniques et cationiques mettent en évidence une supériorité remarquable du sodium parmi les cations (sa teneur augmente de 168, 48 meq/l en amont à 978,26 méq en aval) et du chlore parmi les anions (sa teneur augmente de 218,31 meq/l à 1225,35 meq), ce qui confère à ces eaux un faciès chimique dominant chloruré-Sodique.

L'étude de l'indice de saturation des composantes halites, anhydrites et aragonites montre que la dissolution des formations gypseuses est due à l'augmentation de l'alcalinisation des eaux d'une part et à la précipitation de l'aragonite, de la calcite et de la dolomite d'autre part.

La sensibilité des minéraux à l'indice de saturation met en évidence une précipitation prioritaire des éléments carbonatés suivie des gypsites et en dernier lieu de l'halit.

- La publication de IDDER et al. en (2016), a porté sur l'intrusion minérale par modélisation géochimique dans les textures sableuses des sols. Le cas du Sahara septentrional algérien

Cette étude a été menée en période estivale, a concerné un sol naturel sableux, alimenté en profondeur par les eaux d'une nappe phréatique d'âge quaternaire.

Dans le but d'aboutir à une caractérisation physique et chimique de ce sol d'une part, et à l'identification de l'ordre des précipitations salines majoritaires d'autre part, le modèle thermodynamique géochimique à 25°C (modèle PHREEQCI), a mis en évidence pour trois profils la voie saline neutre en considérant l'ion chlore comme traceur stable.

Il a été montré en outre qu'à partir de logarithme Facteur de Concentration ( $\log FC \leq 0,2$ ), toutes les calcites sont sursaturées, d'où leur précipitation prioritaire dans les horizons de surface : P1H0, P2H0 et P3H0. Cette précipitation calcique est confirmée par les valeurs de  $pH > 8,5$ . Il s'agit essentiellement de la calcite ( $CaCO_3$ ), de la magnésite ( $MgCO_3$ ) et de la dolomite ( $CaMg (CO_3)_2$ ).

Concernant les solutions sulfatées, les précipitations majoritaires sont constatées principalement dans les horizons médians P1H2, P2H2 et P3H2 à partir de  $FC = 1,24$ , correspondant à une cristallisation des ions chlorures à partir de 280 méq/l et des ions sulfates à partir de 324 méq/l.

Parmi les minéraux solubles, l'halite ( $NaCl$ ) est le minéral le plus proche de la saturation.

- La publication de IDDER et al. (2018), qui s'intéresse à la caractérisation géochimique de la nappe superficielle et à l'examen des processus de précipitation des sels dans une parcelle non cultivée située dans l'oasis de Ouargla.

Les résultats obtenus montrent que les eaux de cette nappe possèdent une salinité extrêmement élevée attestée par des valeurs de conductivités électrolytiques qui varient, d'amont en aval du sens d'écoulement des eaux, de 25.7 dS /m à 171.9 dS/m.

Par ailleurs, les résultats des analyses ioniques mettent en évidence une supériorité remarquable du sodium parmi les cations (sa teneur augmente de 168,48 méq/l en amont à 978,26 méq en aval) et du chlore parmi les anions (sa teneur augmente de 218,31 méq/l à 1225,35 méq), ce qui confère à ces eaux un faciès chimique dominant chloruré-Sodique.

L'étude de l'indice de saturation des composantes halites, anhydrites et aragonites montre que la dissolution des formations gypseuses est due à l'augmentation de l'alcalinisation des eaux d'une part et à la précipitation de l'aragonite, de la calcite et de la dolomite d'autre part, ce qui conduit à la formation de dalles calciques au niveau des horizons profonds du sol.

La sensibilité des minéraux carbonatés à la précipitation est en effet commandée par cet indice.

- L'étude de IDDER en (2020), menée sur le sol met en avant la nature et le type de la dynamique saline secondée de la précipitation dans un transect de sol nu dans la cuvette de Ouargla. Laquelle région se caractérise par une aridité nettement exprimée et une sécheresse permanente. Ce transect de sol est soumis à l'influence du climat estival et hivernal présentant un fort pouvoir évaporant en surface et une nappe phréatique de faible profondeur à la base.

Cette nappe, classée C5S3, constitue un lieu privilégié pour l'accumulation et la stagnation de sels répartis en proportions variables selon les horizons.

Ce sol nu a été analysé à travers huit profils creusés suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines. Trois profils ont été réalisés en Eté, six en hiver, dont un profil commun.

La nature granulométrique relevée de ce sol est totalement sablo-limoneuse d'où la faible expression des phénomènes d'échange. A partir du profil salin des horizons examinés dans les deux saisons, il est observé que tous les ions dosés subissent une ascension disproportionnée du bas vers le haut du profil au bénéfice des concentrations estivales.

Il est observé de même que le déplacement horizontal de la salinité suit le sens du cours d'eau phréatique. Les concentrations affichées par les ions indiquent remarquablement un déséquilibre parmi les cations au profit du  $\text{Na}^+$  secondé du  $\text{Ca}^{2+}$  et parmi les anions en faveur du chlore secondé du  $\text{SO}_4^{-2}$ .

Cette configuration se confirme par la présence majoritaire du salant blanc matérialisé par les sels formés, soit les  $\text{NaCl}$  et  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , droitement indicateurs de la salure. Les autres sels mis

en évidence en l'occurrence le  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , témoin du salant noir, et le  $\text{MgCl}_2$  se présentent avec des concentrations moins marquées.

Par ailleurs, les résultats affectés aux concentrations salines indiquent que les différents sels recensés se massent prioritairement en quantités importantes surtout en surface et en zone médiane du profil, lui conférant ainsi le caractère salin dégradé type A ou alterné type A et B compte tenu de la saison. Les importantes valeurs de la CE, pouvant atteindre 62.5dS/m, associées à la tendance saline neutre 7/pH/8, offrent à ce sol le caractère salin.

Par ailleurs les ions chlore, sodium et calcium majoritaires dans la solution du sol offrent les faciès chimiques chloruré-sodique, chloruré-calcique et sulfaté-calcique dominants à ce transect étudié.

Le gypse, comme sa réputation est confinée par un taux d'occupation important dans les horizons de profondeurs, il apparaît aussi en quantités moindre dans les horizons de surface. L'approche géochimique appliquée aux concentrations ioniques trouvées dans le sol nu étudié confirme les règles chimiques élémentaires déjà acquises par ailleurs et de ce fait, indique un ordre de précipitation précis de sels ; les substances chimiques carbonatées suivies des gypsites et en dernier lieu l'halite qui est restée sous-saturée malgré ses hautes concentrations.

## I.10. Conclusion

La synthèse recueillit et établie dans ce mémoire a fait appel aux travaux qui ont trait à la salinité des sels et des eaux .Au vu de la rareté des travaux sur les sols nus sahariens nous avons mis en évidence toute la bibliographie nécessaire pour alimenter notre travail de recherche et les différences à confronter entre le travail réalisé et les résultats antérieurs.

Parmi ces travaux antérieurs il a été trouvé que le bilan ionique est favorable aux ions sodium, chlorure, sulfates. Concernant les sels formés à partir des ions, le chlorure et le sulfate de sodium appelés salant blanc ou série neutre sont trouvés à des quantités importantes.

Les sols étudiés dans la majorité des cas ont une classe texturale sableuse à sablo-limoneuse.ces sols examinés dans les différentes saisons ont affiché majoritairement des conductivités électriques élevées subissant en surface. Les horizons superficiels sont sans doute dus à la migration ascendante des ions.

---

---

# *CHAPITRE II*

---

---

*Présentation de la région  
d'étude*



## II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons un aperçu sur le cadre physique de notre région d'étude: la situation géographique, géologiques, climatiques.....

## II.2. Localisation géographique

La région d'Ouargla (figure 01) est située au Nord-est du Grand Sahara Algérien ; elle est située à une distance de 850 Km de la capitale Alger.

La grande cuvette d'Ouargla s'étend sur une superficie de 99 000 Hectare (DJIDEL, 2008) ; avec une longueur de 45 Km dans la direction Sud-ouest, Nord-est et une largeur de 2 à 5 Km. 32° 10 'N et 5°20 'E.

La wilaya de Ouargla est limitée au :

- ✓ Au Nord par les wilayas de Djelfa, Touggourt et d'El-Oued ;
- ✓ Au Sud par les wilayas d'Illizi et Tamanrasset ;
- ✓ A l'Est par la Tunisie ;
- ✓ A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa;

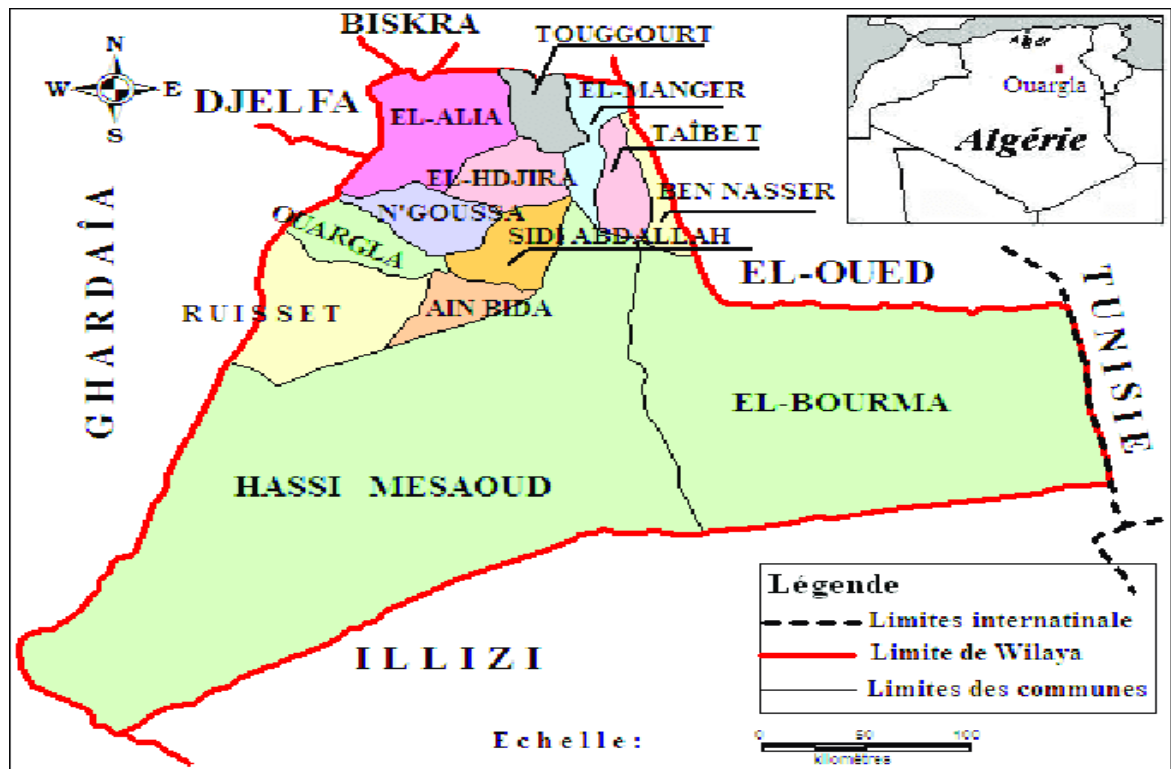


Figure 01. Situation géographique de la zone d'étude (DJIDEL, 2008).

La région d'Ouargla se trouve enclavée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'Oued M'ya. Cette dernière est caractérisée par une dissymétrie marquée par la présence d'une falaise occidentale particulièrement nette et continue, tandis que la limite orientale est imprécise (DJIDEL, 2008).

- ✓ **A l'Ouest :** Un plateau calcaireux surplombe la cuvette d'Ouargla (figure 02) à environ 230 m d'Altitude en confluence avec Oued Mzab et Oued N'sa.
- ✓ **A l'Est :** On constate un plateau, dont les limites ne sont pas nettes avec une altitude ne dépasse pas 160 m.les rebords de ce plateau disparaissent souvent sous les sables (Erg Touil, Erg Boukhazana, Erg Arifdji).
- ✓ **Au Sud :** un massif dunaire recouvre les ruines et Sadrata , son altitude dépasse 155 m.
- ✓ **Au Nord :** Zabret Bouaroua constitue au même temps la limite supérieure de Sebket Safioune et de la grande cuvette d'Ouargla (HAMDI-AÏSSA ,2000).

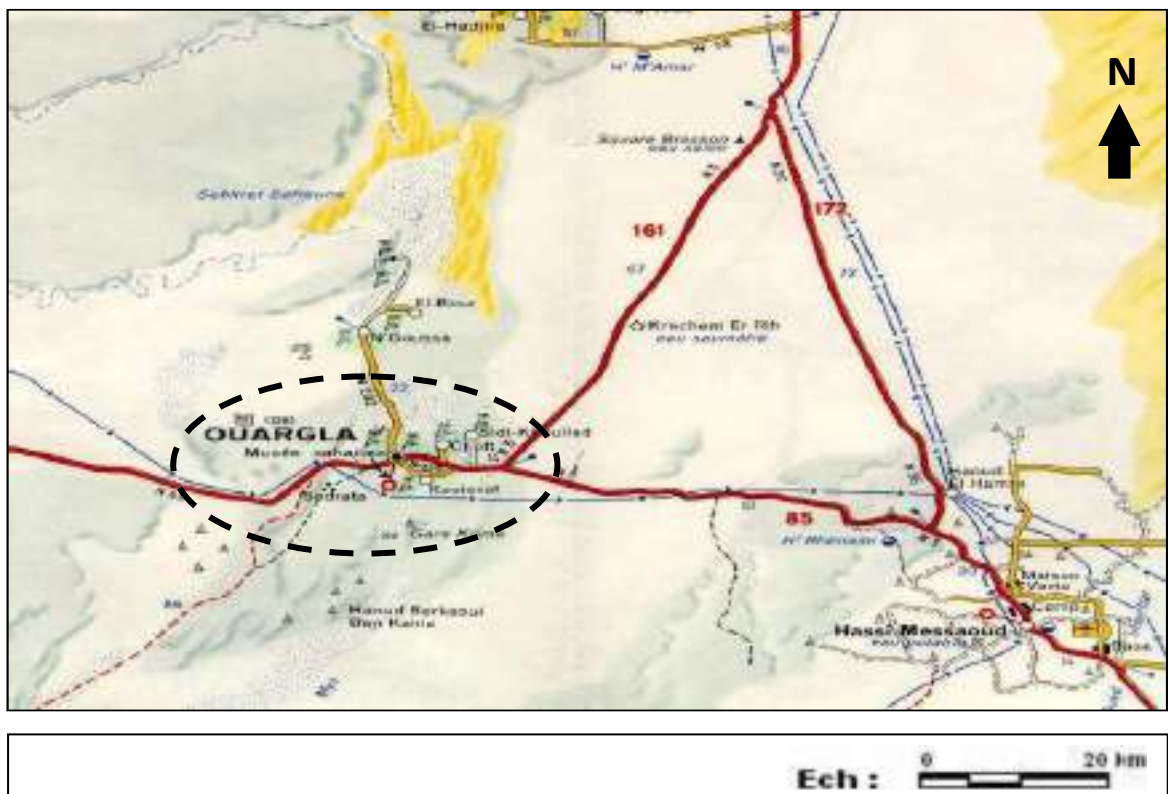


Figure 02. Carte de situation de la cuvette de Ouargla (BG, 2004).

### II.3. Contexte Géologique

Dans la région de Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes) (BELLAOUEUR, 2008).

La région d'étude fait partie de la plateforme saharienne qui est constituée d'un bouclier précambrien composé de morceaux de la plateforme africaine (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

Elle se subdivise en trois sous-domaines constitués par les bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont séparés par l'anticlinal du M'Zab, et par le bassin du plateau de la Hamada El Hamra (figure 03) (UNESCO, 1972; NEZLI, 2009).

KOUZMINE (2003) rapporte que la cuvette du Bas-Sahara (Grand Erg Oriental) et le Grand Erg occidental sont séparés par une dorsale de 200 à 230 m d'altitude en moyenne d'orientation nord-sud liée à une surélévation structurale. Il s'agit d'un plateau gréseux (hamada) qui s'abaisse lentement vers l'est et qui se termine par un escarpement à l'ouest. Le même auteur fait remarquer que cette dorsale joue un rôle majeur dans la structuration de l'espace saharien.

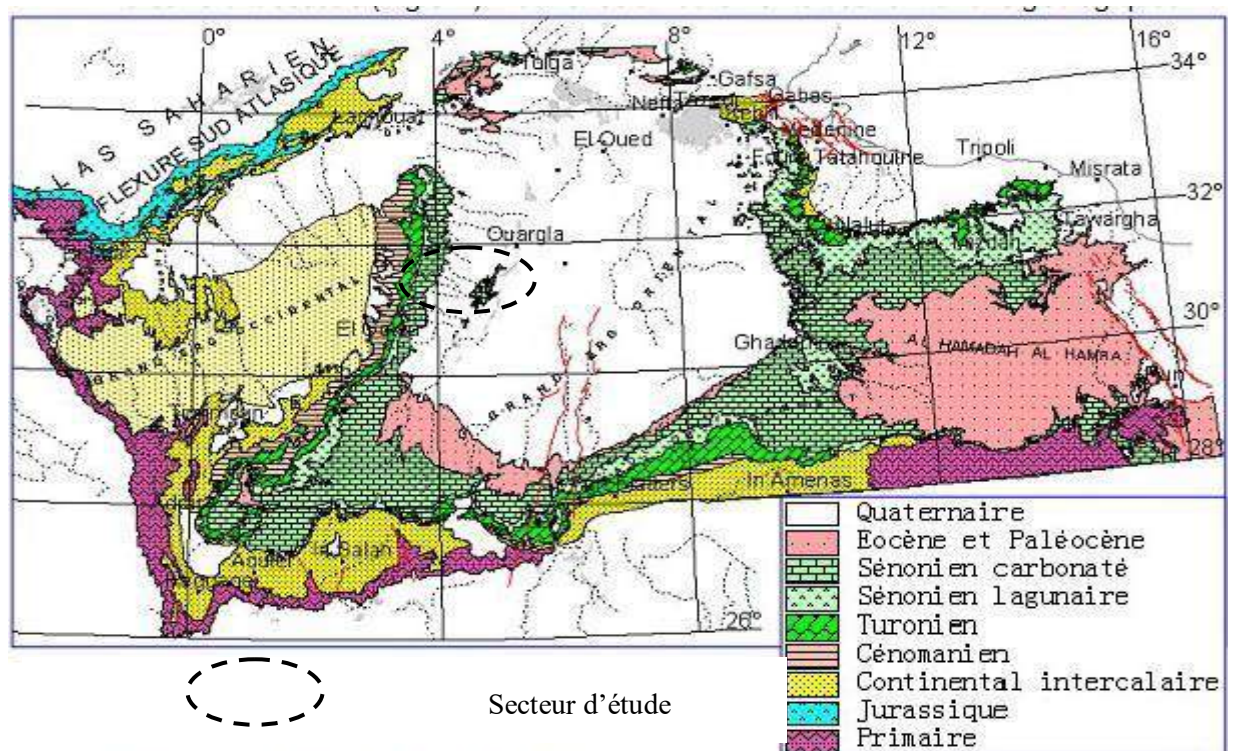


Figure 03. Carte géologique du Sahara (SONATRACH in ASKRI et al. 2007).

## II.4. Contexte Hydrogéologique

Les ressources hydriques disponibles dans les oasis du Sahara, sont d'origines souterraines. Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent deux grands ensembles de formations aquifères bien connus, le continental intercalaire à la base et le complexe terminal au sommet. Une troisième formation, s'ajoute aux deux précédentes : la nappe phréatique ou nappe superficielle, alimentée par les deux aquifères (figure 04).

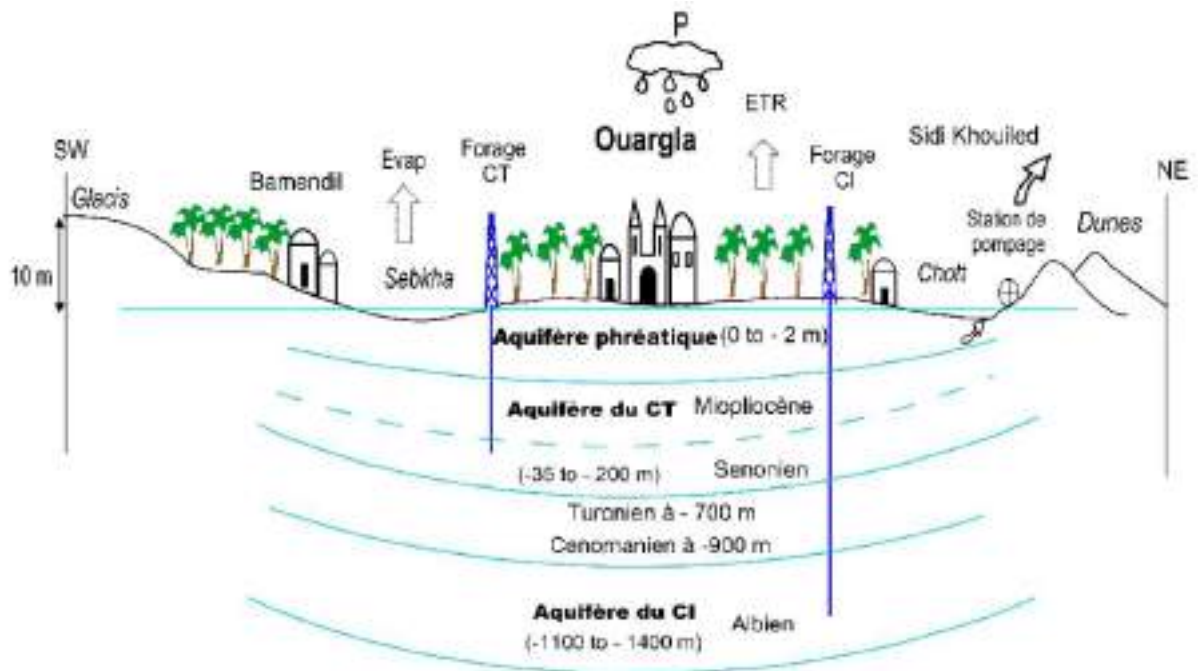


Figure 04. Modèle du bilan hydrologique schématisé des apports – exhaures à Ouargla (SLIMANI, 2016).

### II.4.1. Continental Intercalaire (CI)

Le Continental Intercalaire, (CI) ou "Albien", qui s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional sur une superficie de 600 000 km<sup>2</sup>. Elle s'étend sur le long du bassin sédimentaire du Sahara septentrional (figure 05), il est continu du Nord au Sud depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili et le Hoggar, d'Ouest en Est depuis la vallée de la Saoura jusqu'au désert libyen. Au Nord-est de la dorsale du M'Zab, le toit de l'aquifère, constitué d'argiles et d'évaporites du Cénomanien, est continu sur tout le bassin (UNESCO, 1972).

D'après DUBOST (1992), La nappe du continental intercalaire « Albien » est en réalité installée dans les couches détritiques de l'Albien et du Barrémien souvent séparées par les



bancs calcaires aptiens. Son toit se situe au-delà de 1500 m de profondeur et dépasse dans d'autres zones les 2600 m.

Cet aquifère est contenu dans les formations sablo-gréseuses et argilo-sableuses accumulées dans des niveaux d'âges variables selon les endroits, et compris entre le Trias et le Crétacé inférieur. Il porte souvent, de manière restrictive, le nom de la nappe Albien en référence à son étage supérieur, car les premiers jaillissements d'eau obtenus en provenance de cet aquifère ont été attribués aux grès de l'Albien.

A Ouargla, l'aquifère est situé entre 1000 et 1500 m de profondeur en moyenne (IDDER, 2020), avec une épaisseur utile près de 640 mètres, et constituée de grès fins, gris, à ciment argileux, parfois dolomitiques, avec intercalation de marnes dolomitiques et argiles sableuses. La nappe est jaillissante et exploitée par des forages destinés à l'A.E.P.

#### **II.4.2. Complexe Terminal (CT)**

Le système aquifère du complexe terminal couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 Km<sup>2</sup> (DJIDEL, 2008).

Le complexe terminal (CT) renferme, sur le territoire algérien, deux formations aquifères distinctes. La première est contenue dans les sables du Mio-pliocène, elle s'écoule du Sud-ouest vers le Nord-est en direction du chott Melrhir, tandis que la seconde se trouve dans le Sénonien supérieur et l'Éocène inférieur.

A Ouargla, la nappe du Mio-pliocène se trouve à une profondeur qui varie environ entre 30 et 65 m, alors que celle du Sénonien est située à une profondeur moyenne de 200 m. La salinité de la nappe est très variable (3,75 à 5, 48 ds/m) ; généralement plus minéralisée que celle du continental intercalaire (NEZLI, 2009).

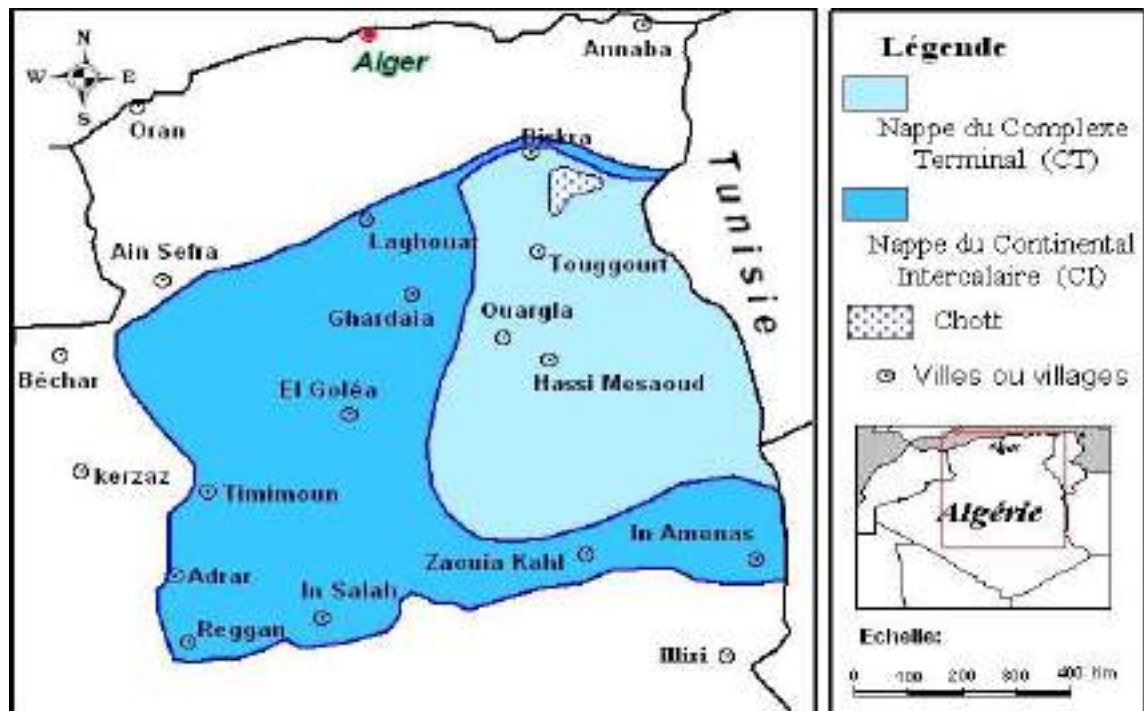


Figure 05. Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT) (HAMMOU, 2014).

### II.4.3. Nappe superficielle ou nappe phréatique

Les nappes phréatiques sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les alluvions de la vallée de l'Oued Mya. Sa profondeur varie en moyenne, entre 0,5 m et 1,5 m par rapport au niveau du sol (A.N.R.H., 1994) mais dans les zones les plus basses, elle se trouve pratiquement à fleur avec le sol. Cette nappe est essentiellement alimentée, par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux urbaines. Elle reçoit également, en quantités non négligeables, les eaux provenant des nappes profondes, qui aboutissent en surface à travers les fentes des puits profonds et les failles des couches géologiques. Les précipitations, certes de faible intensité, peuvent participer aussi à l'alimentation de cette nappe, en particulier lors des événements pluviaux exceptionnels.

Les études de LELIEVRE (1969) de NESSON (1978) et de GUENDOZ et al. (1992) montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara, que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est à dire du Sud vers le Nord (figure 06).

Les eaux de la nappe sont hyper chargées en sel ( $50 \text{ g.l}^{-1}$ ), à faciès chimique chloruré sulfaté (HAMDI-AÏSSA et al., 1997).

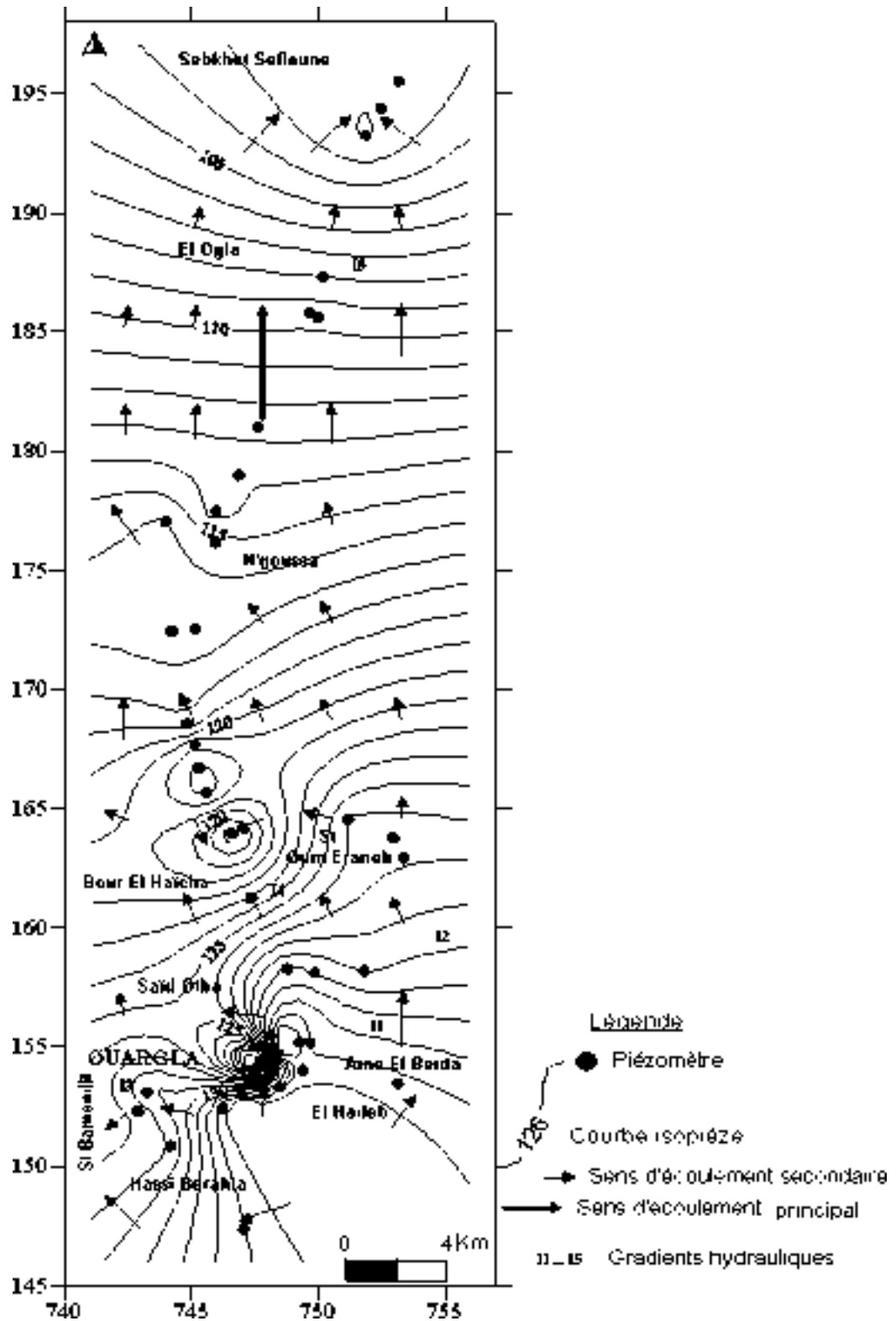


Figure 06. La carte piézométrique de la nappe superficielle de la basse vallée de l'oued M'ya Ouargla (NEZLI, 2004).

## II.5. Contexte géomorphologique

D'ouest à l'est on distingue quatre ensembles géomorphologiques dans la cuvette (figure 07) (HAMDI AISSA, 2001), on distingue :

### *Le Plateau :*

D'après AUMASSIP et al. (1972), Le plateau Composé, essentiellement, de formation gréso-calcaires d'âge Tertiaire, il est jalonné de dépressions fermées appelées Daïas, dont celle de Hassi-Mellala est la plus importante. Ce plateau porte une couverture de graviers ou de cailloux, associée à des sables siliceux rougeâtres.

A la limite occidentale de la cuvette d'Ouargla, ce plateau présente quatre niveaux d'érosion qui se présente sous forme de paliers emboîtés.

Le premier niveau, qui prolonge la surface du plateau, se situe à une hauteur d'environ 200 m au-dessus de la cuvette. Le second à 180 m environ, le troisième à 160 m et le dernier étage de l'érosion à 140 m de hauteur, raccorde l'étage précédent au fond de la cuvette (YOUCEF, 2016).

D'après AUMASSIP et al. 1972 in YOUCEF, 2016, le plateau qui domine la région de Ouargla à l'ouest est le plateau des Gantra et dans lequel s'emboîtent les terrains Quaternaires. Il est constitué de sables siliceux rougeâtres plus ou moins cimentés par du calcaire suivant les niveaux et selon les lieux, présentant parfois des stratifications entrecroisées, riches en bâtonnets gréseux ou gypseux et entrecoupés de concrétions gréseuses ou de bancs de poupées gréso-calcaires. Souvent même, des lentilles de calcaires à Characées et Ostracodes ou de calcaire sublithographique sans organisme se trouvent interstratifiées dans les grés rouges. Sa surface est plate et monotone, accidentée seulement de haouds (dépressions fermées aux bords abrupts dont les formes et les orientations sont diverses) parfois grossièrement circulaires. La dépression de Hassi-Mellala, est la plus grande et la plus profonde (30 km de long, de 6 à 11 km de large, 80 à 90 m de profondeur). Elle s'étend parallèlement à la vallée de l'Oued Mya (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

### *Les Glacis :*

Sont représentés par quatre niveaux étagés dans le versant ouest de la cuvette de Ouargla (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975): le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau



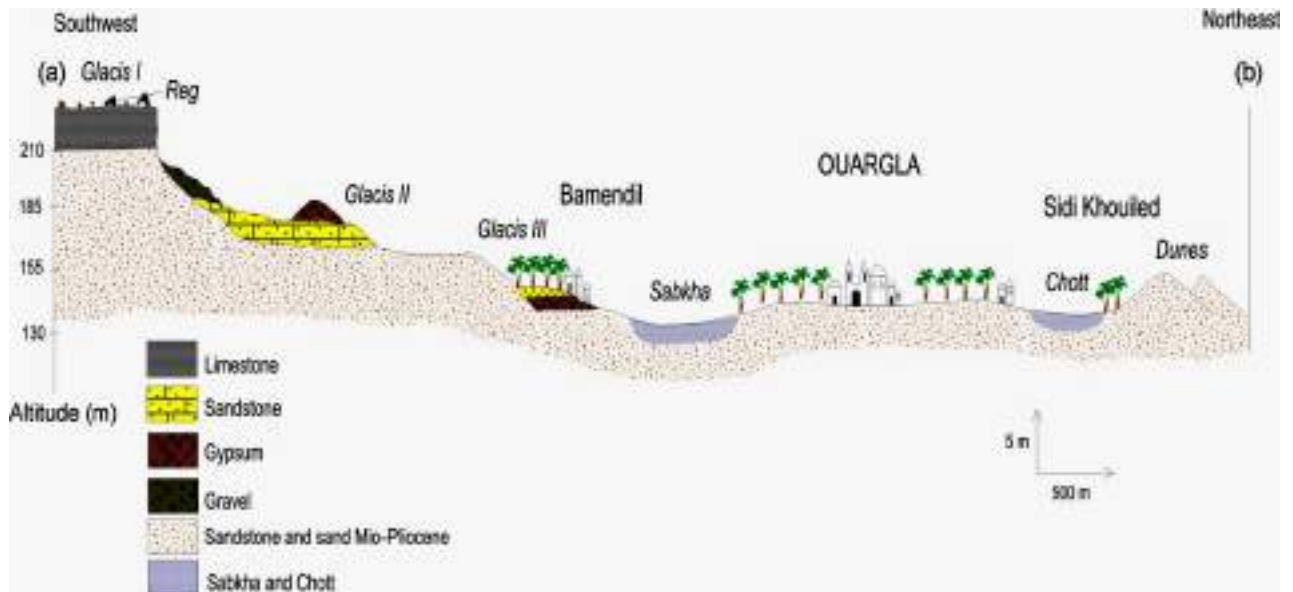
et des buttes; le deuxième glacis est beaucoup plus visible et se développe au nord de la route de Ghardaïa, à une altitude de 180 m environ; le troisième niveau, à 160 m d'altitude, il est recouvert de sable et de graviers gréseux plus ou moins encroûtés de gypse et sa pente est faible; le dernier glacis, développé à 140 m d'altitude environ, et à donné naissance à des formes de relief originales.

### ***Les Sebkhass et les Chotts:***

Lorsque les eaux s'évaporent sous l'effet de la chaleur, des plaques de sels divers se déposent en surface formant suivant l'origine de leurs eaux (phréatiques ou superficielles) les chotts et les sebkhas (MONOD, 1992; COOKE et al., 1993; BRIERE, 2000). L'originalité de la sebkha de Ouargla, qui est actuellement active est soulignée par la comparaison avec les sebkhas méridionales. Légèrement plus basse (130 à 128 m), elle est séparée des sebkhas de l'oued Mya par un groupe d'avant buttes- auquel appartient la Gara Krime. Le fond de la dépression qui entoure une éminence portant la ville et la palmeraie, présente trois aspects différents: l'essentiel de la surface est occupé par des sols salés non inondables passant à l'Est à des sols salés encroûtés; seuls les deux extrémités fonctionnent comme une sebkha (AUMASSIP et al., 1972). Ainsi si la sebkha de Ouargla fonctionne partiellement c'est grâce à l'intervention de l'Homme qui en suralimentant la nappe phréatique a provoqué une remontée de son niveau. Au néolithique cependant, la sebkha de Ouargla a fonctionné naturellement (AUMASSIP et al., 1972).

### ***Dunes de sable :***

Formation éoliennes récentes en petit cordes, d'environ 150m d'altitude, elles occupent l'Est et le Nord-est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued M'ya.



**Figure 07. Coupe géomorphologique schématique Sud-ouest-Nord-est de la cuvette de Ouargla (d'après SLIMANI et al. 2017).**

## II.6. Contexte hydrographique

L'hydrographie de la cuvette de Ouargla (figure 08) se caractérise par son endoréisme (DUBIEF, 1953).

### II.6.1. Oued M'ya:

Il draine le versant Nord-Est du plateau de Tademaït. ses crues assez violentes dépassent Hassi Hinifel, mais n'atteignent cependant pas le chott de Ouargla, exutoire normal actuel (altitude : 127,5 m) (DUBIEF, 1953). Sur ce bassin extrêmement plat, avec des précipitations très faibles et situé en plein cœur du Sahara, on imagine difficilement d'importantes crues du collecteur principal. Vraisemblablement depuis le Quaternaire ancien, il n'a pas existé d'écoulement concentré drainant la dépression de l'oued Mya sur toute sa longueur (AUMASSIP et al., 1972).

### II.6.2. Oued N'sa et Oued M'Zab :

A l'inverse de l'Oued M'ya qui est considéré comme fossile, ces deux Oueds sont fonctionnels, ils peuvent avoir une ou deux crues par an ils n'atteignent la cuvette d'Ouargla que lorsque la crue est importante. Le bassin du N'sa présente une superficie de 7800 km<sup>2</sup> environ (DUBIEF, 1953). La superficie du bassin du M'Zab est de 5000 km<sup>2</sup> environ. Ses

contours sont imprécis dans la partie orientale. Il est atteint par des crues au niveau de Ghardaïa, le point le plus bas.

Oued N'sa et Oued M'Zab drainent le versant des piedmonts Sud-Est de l'Atlas saharien (la dorsale de M'zab) ; Ils coulent donc de l'Ouest vers l'Est –Sud-Est jusqu'à sebkha Safioune. Les alluvions de Oued N'sa ferment la vallée au Nord de sebkha Safioune, empêchant un écoulement vers l'aval.



Figure 08. Réseau hydrographique de la cuvette de Ouargla (DIF, 2017).

## II.7. Contexte pédologique

A travers l'étude réalisée par Hamdi-Aissa (2001), sur les sols de la cuvette d'Ouargla, basée sur des travaux de télédétection et complétée par une étude sur terrain, on peut mettre en évidence une toposéquence type constituée de cinq pédopaysages :

- Un plateau à 180-200m d'altitude, caractérisé par une croûte pétrocalcique surmontant une croûte pétrogypsique. Ce pédopaysage est actuellement non fonctionnel à l'exception de transport éolien et d'humectation des premiers centimètres supérieurs lors des rares pluies ;
- Les glacis et le versant Ouest de la cuvette (entre 180 et 150 m d'altitude) sont en grande partie recouverts de matériau alluvio-éoliens sans développement pédologique notable (REGOSOLS sableux et/ou à gravier). Ces REGOSOLS s'alternent latéralement avec des formations éoliennes (dunes, nebkhas, etc...);

- Les bordures des glacis étagés à 180 m, à 160 m et à 140 m, bien visibles, en partie érodées, se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène (LITHOSOLS);
- La cuvette comprend un ensemble légèrement surélevé constituant le pédopaysage gypseux caractéristique du chott situé entre 140 et 135m d'altitude.  
Ce pédopaysage est subdivisé en deux sous-systèmes : à croute gypseuse de surface, actuellement peu ou non fonctionnel gypso-salin, à croutes gypseuses de sub-surface et croutes salines de surface, actuellement fonctionnel;
- Le centre de la cuvette (135-130 m d'altitude) correspond au pédopaysage salin à croûtes salines de surface.

## I.8. Contexte climatique

Le climat est un facteur important ayant une influence sur plusieurs propriétés du sol.

L'objectif de cette partie est d'élucider les caractéristiques principales du climat actuel de la région de Ouargla ce qui permettra de mieux comprendre sa relation avec les sols de la région.

D'après LHOTE (1984). L'état désertique actuel du Sahara est d'ordre essentiellement climatique et provient d'une disproportion trop accentuée entre la quantité des chutes de pluie et les possibilités d'évaporation qui, progressivement, a privé la végétation d'humidité et a entraîné sa raréfaction.

### II.8.1. Données climatiques

Les données climatiques de la région de Ouargla sont reportées dans le tableau 1.

#### II.8.1.1. Températures

La température moyenne annuelle est de 23,72 °C. Les mois les plus chauds et les plus froids sont, respectivement, celui de Juillet, avec une température moyenne de 36,09 °C, et celui de Janvier avec une température moyenne de 12,37 °C, mis à part les mois de Décembre et de Janvier qui sont les mois les plus froids de l'année, sur les dix autres mois, la température moyenne annuelle avoisine les 25 °C.

La moyenne annuelle des températures minimales moyennes est de 16,29°C et celle des températures maximales moyennes est de 31,15 °C.

L'amplitude thermique annuelle peut atteindre, en moyenne, 39 °C (5,23 °C en Janvier contre 44,04°C en Juillet).

**Tableau 01. Moyennes mensuelle des données climatiques de Ouargla (ONM, 2009- 2018).**

Mois	Température (°C)			Humidité (C%)	Vent (Km/h)	Précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Insolation (h/mois)
	Minimal	Maximal	Moyenne					
<b>Janvier</b>	5,23	19,52	12,37	55,33	8,17	7,95	97,85	248,38
<b>Février</b>	6,97	21,19	14,08	47,96	9,20	3,69	120,69	237,43
<b>Mars</b>	10,68	25,67	18,17	42,26	9,74	5,08	180,62	266,82
<b>Avril</b>	15,35	30,76	23,06	36,21	10,26	1,48	231,34	285,33
<b>Mai</b>	19,99	35,34	27,67	30,69	10,56	2,07	302,61	316,25
<b>Juin</b>	24,81	40,42	32,61	26,97	9,96	0,77	366,88	229,30
<b>Juillet</b>	28,14	44,04	36,09	22,94	8,92	0,35	447,18	317,54
<b>Août</b>	27,26	42,42	34,84	26,79	8,95	0,38	388,00	341,44
<b>Septembre</b>	23,54	38,14	30,84	35,68	9,14	4,85	266,76	268,06
<b>Octobre</b>	17,15	31,83	24,49	41,47	7,87	3,81	207,61	270,72
<b>Novembre</b>	10,45	24,59	17,52	51,21	7,26	2,76	124,50	248,21
<b>Décembre</b>	5,87	19,83	12,85	58,09	6,93	3,74	86,17	238,98
<b>Moyen</b>	16,29	31,15	23,72	39,63	8,91	36,92*	2820,21*	3268,46*

\* : cumuls annuels

### **II.8.1.2.Précipitations**

Les précipitations dans la région d’Ouargla sont rares et irrégulières dans le temps et dans l’espace. Leurs répartitions sont marquées par une période de sécheresse étalée sur toute l’année.

La moyenne annuelle des précipitations, pour la période 2009-2018, est de 3,08mm/an, avec un cumul annuel de 36,92 mm : Janvier est le mois le plus pluvieux 7,95 mm, et Juillet est le mois le plus sec 0,35 mm (tableau1).

### **II.8.1.3. Humidité relative**

L'humidité de l'air est très sèche avec une moyenne annuelle de 39,63%. Elle varie entre 22,94% (Juillet) à 58,09% (Décembre) qui se manifeste par une sécheresse atmosphérique pendant toute l'année (tableau1).

### **II.8.1.4. Evaporation**

Selon DUBIEF (1950), le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée. Les données propres à la station de Ouargla nous montrent des valeurs annuelles très importantes avec 2820,21 mm.

L'évaporation est très importante surtout pendant les mois chauds où on note un maximum de 447,18 mm au mois de juillet, un minimum de 86,17 mm au mois de décembre (tableau 01).

### **II.8.1.5. Insolation**

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagées (DUBIEF, 1959).

La région de Ouargla est caractérisée par une forte insolation durant la journée où on enregistre une moyenne de 272,37 h/mois. Avec un maximum de 341,44 h au mois d'aout et un minimum de 229,6 h au mois de décembre (tableau 01).

### **II.8.1.6. Vent**

Malgré les apparences, le Sahara n'est pas à proprement parler un pays venteux, mais un pays où, par suite de sa dénudation, on ressent le plus facilement le vent (DUBIEF, 1952).

Ouargla en générale est caractérisée par des vents fréquents et soufflent durant toute l'année avec des vitesses qui varient d'un mois à un d'autre. La vitesse moyenne est de 8,91 m/s, la direction des vents dominants est de nord, nord- est et sud, sud-est (tableau 01).

## II.8.2. Caractérisation du climat

Pour caractériser le climat d'Ouargla, Ce volet présenté par les indices de MARTONNE (1926) et d'EMBERGER (1954), ainsi que le digramme ombrothermique de GAUSSEN.

### II.8.2.1. Indice d'aridité de Martonne ( $I_M$ )

Il a pour expression :

$$I_M = P / (T + 10)$$

**P** : représente la moyenne annuelle des précipitations, exprimée en mm,

**T** : température annuelle moyenne en °C.

Cette formule permet de définir les intervalles climatiques suivants :

- Pour  $0 < I_M < 5$  : Climats désertiques aréiques.
- Pour  $5 < I_M < 20$  : Climats très secs à secs.
- Pour  $I_M > 30$  : Climats humides.

Nous trouvons une valeur de  $I_M = 1,09$  : cette valeur est très inférieure à 5, elle traduit donc une aridité nettement exprimée.

### II.8.2.2. Quotient pluviothermique d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude, il lie les deux facteurs essentiels, le climat à savoir la température et la précipitation par la relation suivante :

$$Q_3 = 3,43 \times P / (M - m)$$

**P** : est la précipitation moyenne annuelle en mm.

**M** : est la moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

**m** : est la moyenne des minima du mois le plus froid en °C.

D'après la (figure 09), Ouargla se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique ( $Q_3$ ) est de 3,26.

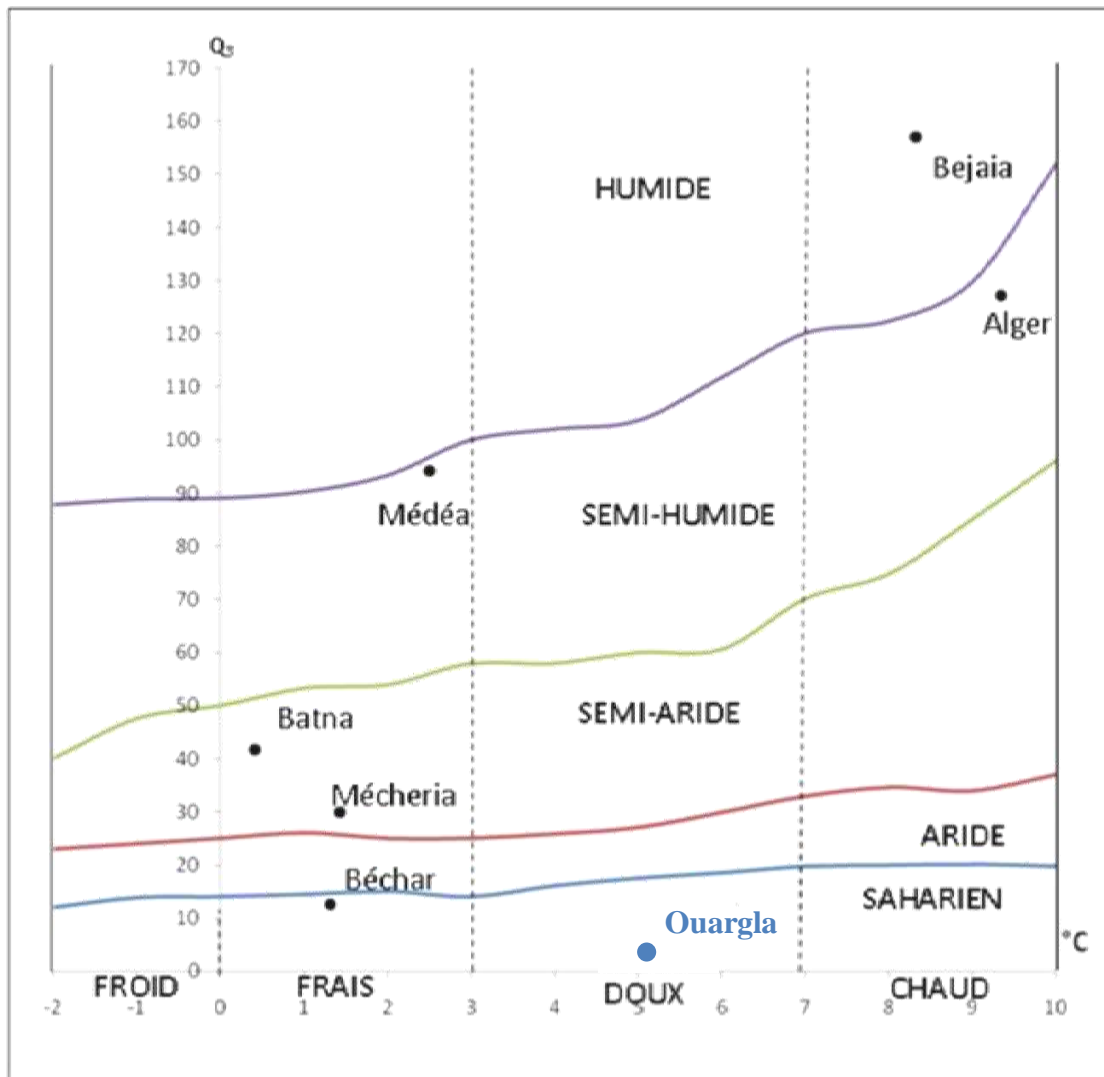


Figure 09. Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla.

### II.8.2.3. Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN

Ce diagramme est utilisé pour mettre en évidence les périodes de sécheresses. Il utilise deux variables : les moyennes de précipitations et des températures mensuelles, selon l'échelle :  $P = 2T$ . Les périodes de sécheresse correspondent aux moments où la courbe de la pluviométrie passe au dessous de celle de la température.

Le diagramme Ombrothérmique appliquée pour la région de Ouargla pendant la période (2009-2018), indique que une période sèche s'étale durant toute la période (2009- 2018) (figure 10).



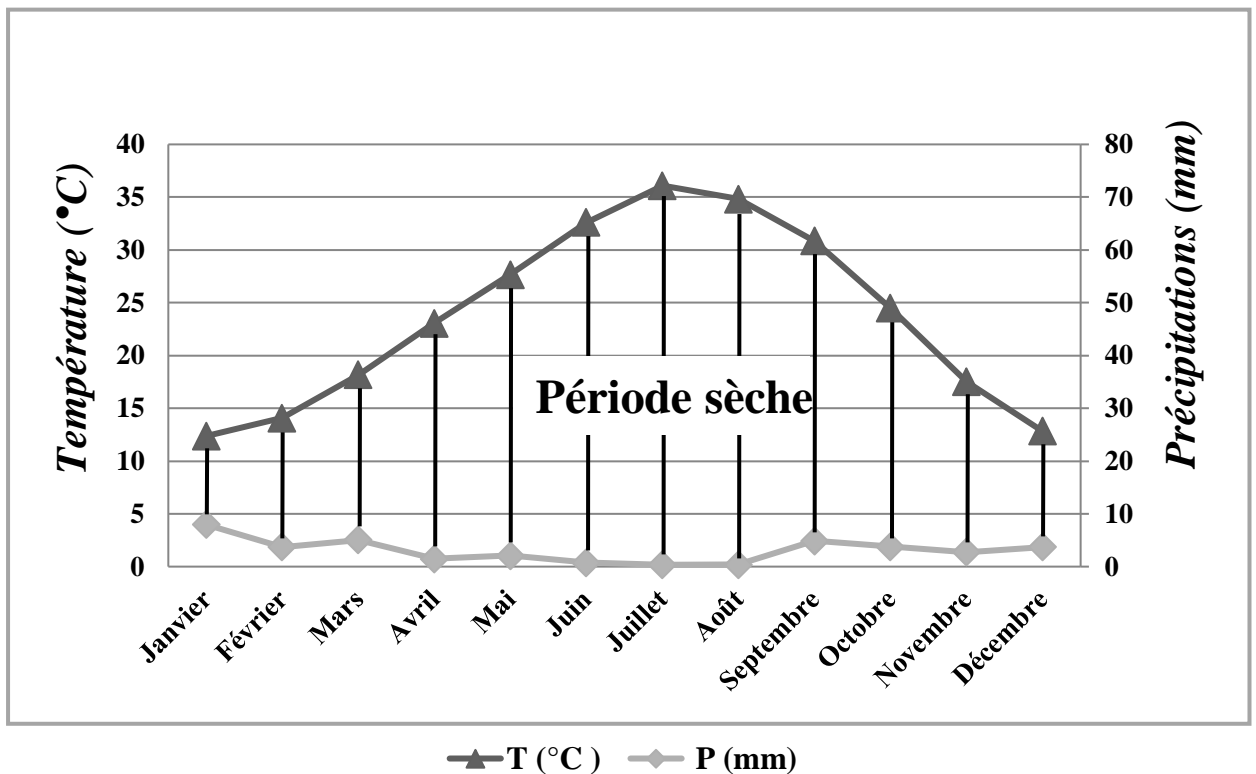


Figure 10. Diagramme ombrothermique de la station de Ouargla (Période 2009-2018).

## II.9. Conclusion

La présentation du cadre général de l'étude, nous a permis de tirer les constatations suivantes :

- ✓ L'hydrogéologie de la région est caractérisée par des nappes souterraines contenant des quantités considérables d'eau fossile;
- ✓ L'hydrologie superficielle est caractérisée par son endoréisme et l'absence d'oueds actifs;
- ✓ La région de Ouargla est composée essentiellement de terrains sédimentaires. Une alternance entre des périodes humides et d'autres arides ont caractérisé le Quaternaire;
- ✓ La géomorphologie est caractérisée par l'existence de plateau, de glacis et de Chotts et Sebkhass;

Les sols de la région sont essentiellement des sols gypseux et salins;

---

---

# *CHAPITRE III*

---

---

*Matériel et méthodes*

### III.1. Introduction

D'après RUELLAN et DOSSO (1993), le sol est un système ouvert non adiabatique à travers lequel les échanges physiques et chimiques sont effectués entre le milieu extérieur défini par les variations atmosphériques et les effets de profondeurs représentés par les eaux de la nappe phréatique.

Dans ce chapitre sera d'abord consacré à décrire les sites étudiés et les critères de leur choix, puis à présenter les méthodes d'étude qui ont été suivies sur le terrain et en laboratoire (figure 11).

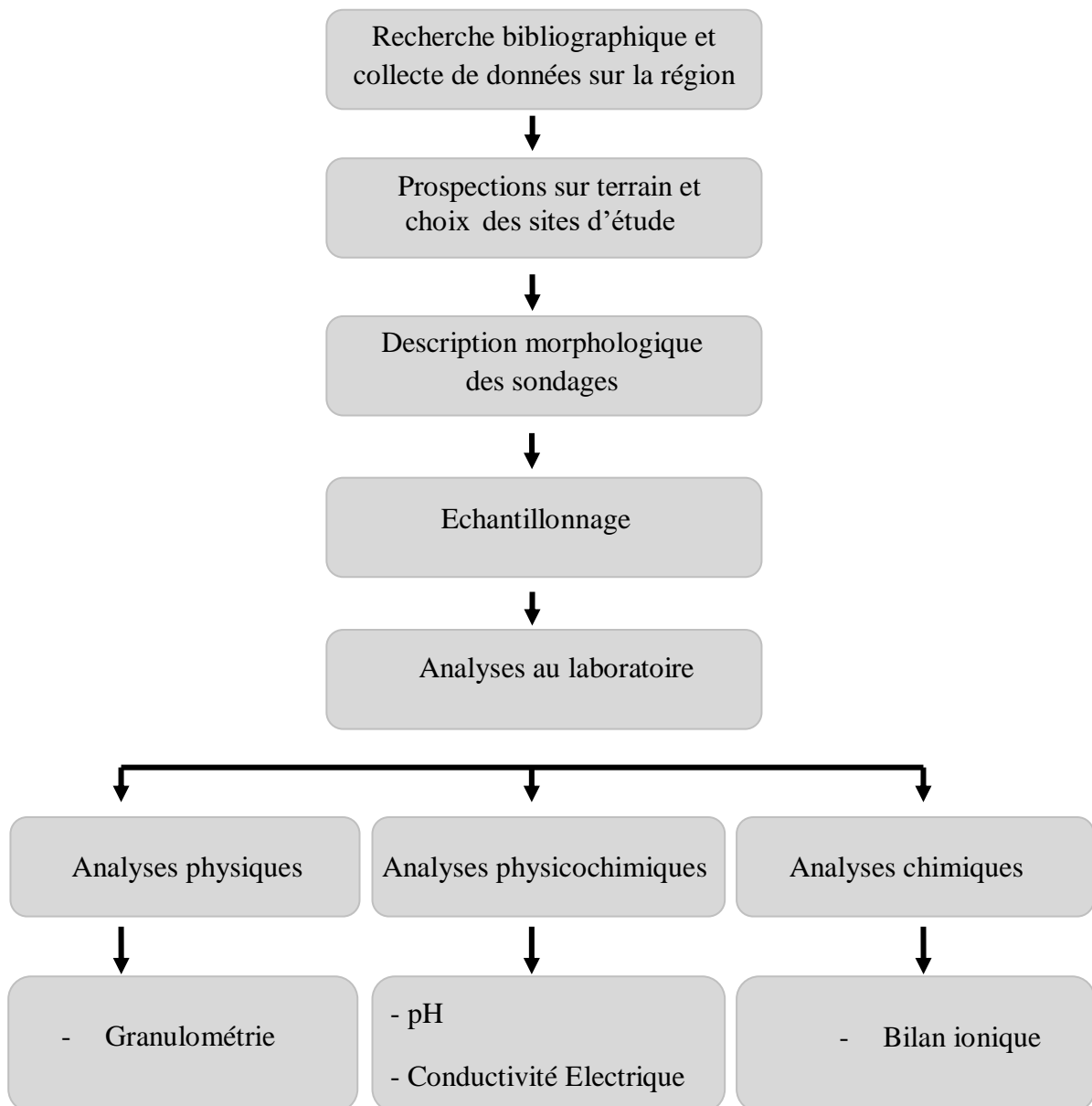


Figure 11. Organigramme montrant les différentes étapes du travail.

### III.2. Sélection des sites étudiés

Ce travail a été réalisé dans un secteur non cultivé de l'exploitation agricole SNV (figure 12), et au niveau de Mekhadma, ainsi qu'au niveau de Saïd Otba, les trois sites sont des sols nus soumis uniquement à l'influence des facteurs climatiques, et la remontée de la nappe phréatique. L'eau de la nappe phréatique s'écoulant du sud vers le nord (GUENDOUZ et al., 1992).

L'objectif principal de ce travail s'intéresse à la caractérisation géochimique des sols et des eaux de la nappe superficielle de Ouargla, ainsi qu'à la mise en évidence de l'ordre de précipitation des sels formés en utilisant les indices de saturation IS du modèle thermodynamique PHREEQC à 25 °C.



Figure 12. Localisation des sites choisis des sondages étudiés (Google Earth, 2021).

### **III.3. Présentation des sites étudiés**

#### **III.3.1. Exploitation agricole SNV**

L'exploitation est située au sud-ouest de la ville de Ouargla, à six kilomètres environ du centre ville.

Elle se présente sous forme d'un glacis, d'une grande homogénéité topographique.

Elle se trouve dans une zone peu élevée, à la bordure d'un chott. La dénivelée topographique entre le chott et l'exploitation est d'environ deux mètres.

Ses coordonnées géographiques sont:

- Latitude : 31° 57' Nord ;
- Longitude : 5° 20' Est ;
- Les altitudes sont comprises entre 132.5 et 134 m.

L'exploitation s'étend sur une superficie initiale totale de 32 ha, dont 16 hectares sont aménagés et répartis en quatre secteurs, à savoir : A1, A2, C1 et C2. Le reste des secteurs E, F, G et H correspond à l'extension non exploitée (sol nu). Actuellement, une partie de la superficie a été attribuée au pôle universitaire.

Dans cette station nous avons réalisé un sondage : dans le secteur E.

#### **III.3.2.El Mekhadma**

La région de Mekhadma est située Est de la ville de Ouargla.

Dans cette station nous avons réalisés un sondage : de la route de khafji-Saïd Otba (N49) et localisée à Mekhadma Ses coordonnées géographiques sont :

- Longitude : 5°16'34.3" Est ;
- Latitude : 31°56'20.4"Nord

#### **III.3.3. Saïd Otba**

La région de Saïd Otba est située Nord – Est de la ville de Ouargla.

Elle est située sur une longitude de 5°17'55.2"Est et une latitude de 31°56'04.6"Nord.

### **III.4. Matériel utilisé**

#### **III.4.1. Au niveau de terrain**

- ◆ Une tarière : pour faire manuellement le prélèvement des échantillons du sol.
- ◆ Des sachets en plastique avec des étiquettes : pour transporter les sondages du sol.

### III.4.2. Au laboratoire

- ◆ Agitateur rotatif : pour préparer l'extrait aqueux sol/eau.
- ◆ Une balance numérique : pour peser les échantillons.
- ◆ Un pH-mètre : pour mesurer le pH des solutions aqueuses du sol.
- ◆ Un conductimètre : pour mesurer le taux de salinité des solutions aqueuses du sol.
- ◆ Des tamis à différentes tailles : pour l'analyse granulométrique.
- ◆ Un spectromètre d'émission optique avec plasma à couplage inductif à haute fréquence ICP-OES de type Perkin Elmer Optima 8000: dosage des ions en solution ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ).

### III.5. Méthodes d'étude

#### III.5.1. Sur terrain

D'après IDDER (2015) pour caractériser morphologiquement le sol nu des parties étudiées nous avons réalisé sur terrain trois sondages basées sur les critères du sol nus suivants : Caractérisation de l'environnement de la station; situation géographique; topographie; conditions climatiques (le temps) et la Végétations.

##### III.5.1.1. Echantillonnage

Après la réalisation des sondages et leur description, nous avons prélevés des échantillons de chaque horizon en commençant du haut vers le bas du sondage avec outils tarière, ensuite transportés au laboratoire dans des sachets en plastique bien fermés à double étiquetage (interne et externe). Ils sont séchés à l'air libre ensuite tamisés à 2mm, afin d'obtenir de la terre fine, sur laquelle les analyses physico-chimiques seront effectués.

#### III.5.2. Au laboratoire

Les mesures ont été effectuées sur un extrait du rapport (terre/eau) 1/5, et qui se divise en deux extraits :

- Extraits du rapport (terre/eau) 1/5 pour chaque horizon.
- D'après BARBIERO et al. (1992), lorsque les eaux de la nappe sous-jacente imbibent les sols en contact, la composition chimique de l'eau de la nappe devient celle de la solution du sol. Par conséquent, nous avons faire un extrait du rapport (terre/eau) 1/5 pour l'ensemble de sondage, c'est-à-dire dans chaque sondage nous collectons le sol pour chaque horizon et le mélangeons. Les analyses physico-chimiques des sols ont été réalisées aux laboratoires suivants :

- ◆ Laboratoire de service des traitements des eaux et environnement de la Sonatrach CRD, (Hassi Messaoud).
- ◆ Laboratoire de pédologie de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université Ouargla).
- ◆ Laboratoire de Recherche sur la Phoeniciculture de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université Ouargla).

### **III.5.2.1. Analyses physiques**

#### **III.5.2.1.1. Granulométrie**

La granulométrie a été effectuée par tamisage à sec, (tamis de : 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.125mm, 0.00063mm).

#### **III.5.2.2. Analyses physico-chimiques**

##### **III.5.2.2.1. Conductivité Electrique (C.E)**

Mesurée par un conductimètre sur des extraits dont le rapport (terre/eau) est de 1/5 (AUBERT, 1978).

**Appareil :** Conductimètre type 2211 HI (HANNA INSTRUMENT).

##### **III.5.2.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH)**

Mesurée par un pH mètre sur des extraits du rapport (terre/eau) 1/5.

**Appareil :** pH mètre type HI 2211 (HANNA INSTRUMENT).

#### **III.5.2.3. Analyses chimiques**

##### **III.5.2.3.1. Dosage des anions**

###### **A. Carbonate et Bicarbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ et $\text{HCO}_3^-$ )**

Ont été effectués par titrimétrie à  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0.1N) en présence des indicateurs (phénolphtaléine et orange de méthyle). La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la couleur rosâtre.

###### **B. Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )**

Application de la méthode de MOHR basée sur la titration de l'extrait de sol par Nitrate d'Argent  $\text{AgNO}_3$  en présence de chromate de potassium  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  jusqu'à l'apparition de la couleur rouge brique.

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

Application de la méthode gravimétrie que basée sur la précipitation des sulfates sous forme de sulfates de baryum.

#### III.5.2.3.2. Dosage des cations

##### A. Potassium $\text{K}^+$ , calcium $\text{Ca}^{++}$ et sodium $\text{Na}^+$

Sont analysé par :

##### Appareil :

- ◆ Spectromètre d'émission optique avec plasma à couplage inductif à haute fréquence ICP-OES de type Perkin Elmer Optima 8000

##### B. Dosage de la somme de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Ont été déterminé par méthode tetrimétrique à l'EDTA

##### Réactifs :

- ◆ Sel disodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA).
- ◆ Noir d'iriochrome T (indicateur coloré).
- ◆ Solution tampon pH = 10.

$$\text{TH } (^\circ\text{F}) = [\text{Ca}^{2+} (\text{méql-1}) + \text{Mg}^{2+} (\text{méql-1})] * 5$$

$$\text{Et par conséquent : } \text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$$

#### III.5.3. Traitement des données

Ont été utilisés des programmes informatiques pour représenter les paramètres et en tirer des renseignements particuliers qui indiquent ci-dessous

##### III.5.3.1. Phreeqci, v, 2.15 (Parkhurst and Appelo, 1999 in NEZLI, 2009)

L'étude géochimique a été effectuée par simulation à l'évaporation naturelle (température de l'échantillon), en utilisant le logiciel thermodynamique chimique, Phreeqci.v.2.15. Le calcul de l'indice de saturation ( $\text{IS} = \log(Q) / \log(K_{ps})$ ) des minéraux dissous dans l'eau a été mené en utilisant la loi de Debye-Hückel, en considérant que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à +0,5.



**III.5.3.2. Diagramme de Piper**

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle (NEZLI, 2009).

---

---

# *CHAPITRE VI*

---

*Résultats et discussions*

## IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la description morphologique des sondages étudiés et les résultats des analyses physiques, physico-chimiques et chimiques relatifs à chaque sondage, sur les sols nus des trois sites : Exploitation agricole SNV, El Mekhadma, et Saïd Otba. Nous présenterons dans ce qui suit les principaux résultats obtenus.

## IV.2. Caractérisation morphologique et analytique du sol

### IV.2.1. Caractérisation morphologique et analytique de sondage 1

- Date de prélèvement et de description : 25/03/2021
- Topographie : forme plane avec une pente faible.
- Situation : Secteur E de l'exploitation agricole SNV.
- Temps : Ensoleillé.
- Végétation : inexistante.
- Aspect de la surface : encroutement salin.
- Occupation du sol : sol nu naturel sur 100 % de sa superficie.
- La saison d'étude : printanière.
- Le niveau de la nappe phréatique : 120 cm
- Les coordonnées géographiques
 

<b>-Latitude :</b> 31.9406	<b>-Longitude :</b> 5.2906	<b>- Altitude :</b> 131 m
N31°56'26"	E5°17'26"	

**H1 (5-20) :** Texture sableuse; moyenne effervescence à l'HCl ; présence de cristaux de sels ; faible cimentation ; pas de racines ; activité biologique non décelable.

**H2 (20-60) :** Texture sableuse; matière organique non décelable ; moyenne effervescence à l'HCl ; brillance de cristaux de sels ; pas d'éléments grossiers ; faible cimentation ; pas de racines ; activité biologique non décelable.

**H3 (60-80) :** Texture sableuse ; faible effervescence a l'HCl; absence de matière organique et racine; activité biologique non décelable ; faible cimentation ; la nappe peu profondeur.

**H4 (80-100) :** Texture sableuse; matière organique non décelable ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; faible effervescence a l'HCl; présence l'eau de la nappe.

**H5 (100-120) :** Texture sableuse; faible effervescence a l’HCl ; matière organique non décelable ; éléments grossiers inexistants ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; présence l’eau de la nappe.

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 02 qui suit :

**Tableau 02. Caractérisation analytique du terrain nu naturel. Sondage 1 au niveau de l’exploitation agricole SNV.**

Caractéristiques		Horizons (cm)					
		H0	H1	H2	H3	H4	H5
Profondeur (cm)		0 – 5	5 – 20	20 – 60	60 – 80	80 – 100	100 – 120
pH		7.6	8.1	7.8	8.1	8.2	7.9
C.E (dS /m) à 25° C extrait 1/5		63.8	7.84	6.11	4.32	4.05	3.86
Granulométrie (%)	A+L (%)		17	3.2	5.9	17.1	10.8
	S.f (%)		21	11.8	10.4	10.7	8.1
	S.g (%)		60	72	77.8	62.78	75.2
Classe textural			Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
Bilan ionique de l’extrait aqueux 1/5 (még/l) (S1)	Na <sup>+</sup>	173.53					
	Ca <sup>2+</sup>	41.03					
	Mg <sup>2+</sup>	37.46					
	K <sup>+</sup>	5.92					
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.51					
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	88.35					
	Cl <sup>-</sup>	162.64					
Faciés chimique globale		Chloruré sodique					
C.E (dS/ m) à 25°C (S1)		19.5					
pH (S1)		7.66					
S.A.R (S1)		27.70					

**IV.2.2. Caractérisation morphologique et analytique de sondage 2**

- Date de prélèvement et de description : 25/03/2021
- Topographie : forme plane.
- Situation : route khafji-Saïd Otba.
- Temps : Ensoleillé.
- Végétation : inexistante.
- Aspect de la surface : encroutement salin.
- Occupation du sol : sol nu naturel sur toute sa superficie.
- La saison d'étude : printanière.
- Le niveau de la nappe phréatique : 100 cm
- Les coordonnées géographiques

**Latitude :** 31.9611**Longitude :** 5.2855**Altitude :** 128 m

N31°57'40"

E5°17' 7"

**H1 (5-30) :** Texture sableuse; moyenne effervescence à l'HCl ; Brillance de cristaux de sels; pas de racines ; Matière organique non décelable ; faible cimentation ; absence d'activité biologique.

**H2 (30-60) :** Texture sableuse; faible effervescence a l'HCl; matière organique non décelable ; très salé avec présence de cristaux de sels ; pas de racines ; activité biologique non décelable.

**H3 (60-80) :** Texture sableuse; faible effervescence a l'HCl; absence de matière organique et racine; activité biologique non décelable ; la nappe peu profondeur.

**H4 (80-100) :** Texture sablo-limoneuse; matière organique non décelable ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; faible effervescence a l'HCl; présence l'eau de la nappe.

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 03 qui suit :

Tableau 03. Caractérisation analytique du terrain nu naturel. Sondage 2 au niveau de Mekhadma.

Caractéristiques		Horizons (cm)				
		H 0	H 1	H 2	H3	H4
Profondeur (cm)		0 – 5	5 – 30	30-60	60-80	80-100
pH		7.5	8.2	7.7	8.3	8.2
C.E (dS /m) à 25° C extrait 1/5		68	7.56	6.27	4.5	3.72
Granulométrie (%)	A+L (%)		1.7	4.8	8.9	5.6
	S.f (%)		21.8	27.7	31.7	58.2
	S.g (%)		66	63.1	58	32.6
Classe textural			Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
Bilan ionique de l'extrait aqueux 1/5 (méq/l) (S2)	Na <sup>+</sup>	201.06				
	Ca <sup>2+</sup>	67.21				
	Mg <sup>2+</sup>	43.13				
	K <sup>+</sup>	3.76				
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8.44				
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	107.83				
	Cl <sup>-</sup>	193.87				
Faciés chimique globale		Chloruré sodique				
C.E (dS/ m) à 25°C (S2)		25.9				
pH (S2)		7.92				
S.A.R (S2)		27.06				

**IV.2.3. Caractérisation morphologique et analytique de sondage 3**

- Date de prélèvement et de description : 25/03/2021
- Topographie : forme plane.
- Situation : Terrain nu à la coté de palmeraie outaja.
- Temps : Ensoleillé.
- Végétation : inexistante.
- Aspect de la surface : encroutement salin.
- Occupation du sol : sol nu naturel sur toute sa superficie.
- La saison d'étude : printanière.
- Le niveau de la nappe phréatique : 100 cm
- Les coordonnées géographiques

**Latitude :** 5.31474

E5°18'53.058"

**Longitude :** 31.98264

N31°58'57.516"

**Altitude :** 129 m

**H1 (5-30) :** Texture sableuse; moyenne effervescence à l'HCl ; brillance de cristaux de sels; pas de racines ; Matière organique non décelable ; faible cimentation ; absence d'activité biologique.

**H2 (30-65) :** Texture sableuse; faible effervescence a l'HCl; matière organique non décelable ; très salé avec présence de cristaux de sels ; pas de racines ; activité biologique non décelable.

**H3 (65-80) :** Texture sableuse; faible effervescence a l'HCl; absence de matière organique et racine; activité biologique non décelable ; la nappe peu profondeur.

**H4 (80-100) :** Texture sableuse; matière organique non décelable ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; faible effervescence a l'HCl; présence l'eau de la nappe.

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 04 qui suit :

Tableau 04. Caractérisation analytique du terrain nu naturel. Sondage 3 au niveau de Saïd Otba.

Caractéristiques		Horizons (cm)				
		H 0	H 1	H 2	H3	H4
Profondeur (cm)		0 – 5	5 – 30	30-65	65-80	80-100
pH		7.7	8.1	7.7	8.3	8.2
C.E (dS /m) à 25° C extrait 1/5		84.7	5.87	3.59	3.21	3.34
Granulométrie (%)	A+L (%)		3.9	4.9	6	1.4
	S.f (%)		4.5	30.8	59	62.2
	S.g (%)		46.5	64.3	33.8	25.1
Classe textural			Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
Bilan ionique de l'extrait aqueux 1/5 (méq/l) (S3)	Na <sup>+</sup>	182.91				
	Ca <sup>2+</sup>	74.25				
	Mg <sup>2+</sup>	93.5				
	K <sup>+</sup>	4.61				
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.56				
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	142.62				
	Cl <sup>-</sup>	210.96				
Faciés chimique globale		Chloruré sodique				
C.E (dS/ m) à 25° (S3)		26.18				
pH (S3)		7.84				
S.A.R (S3)		19.40				



A partir des caractérisations morphologiques et analytiques des trois sondages examinés (Tableau 2, 3, 4), le sol en question présente majoritairement une texture sableuse sur tous les horizons.

Les valeurs de la conductivité électrique sont très élevées surtout en surface ( $3.34 \text{ ds.m}^{-1} \leq \text{C.E} \leq 84.7$ ) (AUBERT, 1978), d'où un sol très salé à extrêmement salé, le faciès chimique globale est chloruré sodique. Le pH du sol est entre la neutralité et l'alcalinité ( $7.5 \leq \text{PH} \leq 8.7$ ) (GAUCHER, 1968).

Les valeurs du SAR sont comprises entre 19,40 et 27,70 ce qui indique que le sol est fortement sodique à très fortement sodique (U.S.S.L, 1954), elle appartient à la classe C5S4 au niveau de sondage (1, 2) et à la classe C5S3 au niveau de sondage 3 (Annexe N°04).

### IV.3. Répartition des concentrations ioniques

#### IV.3.1. Répartition ionique de sondage 1 au niveau de l'exploitation agricole

SNV

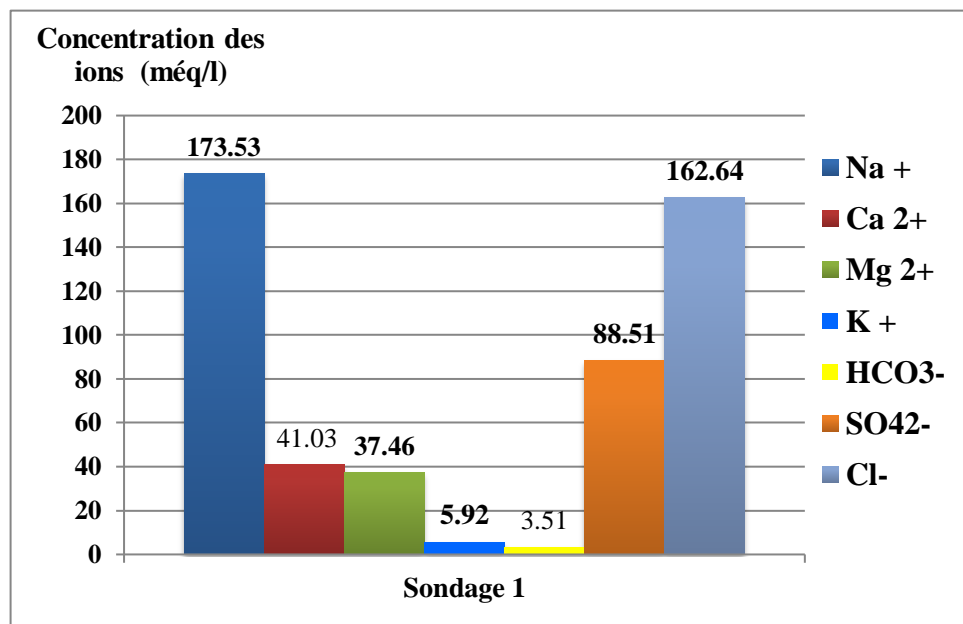


Figure 13. Concentration des ions dans le sondage 1 au niveau de l'exploitation agricole SNV.

En matière de concentration des ions dans ce sondage, un déséquilibre remarquable de sodium atteignant 67.28% par rapport aux autres cations, concernant les anions le chlore se manifeste le plus dominant avec 63.91%. D'après les remarques constatées à partir de la

(figure 13), on observe que le taux des concentrations des ions : sodium, chlore sont élevés par rapport aux autres ions, cela veut dire éventuellement que ces derniers ne sont pas impliqués dans d'éventuelles précipitations des minéraux. Cette dominance provient généralement de la dissolution de l'halite (NaCl) et de subite (KCl) en contact avec l'eau. Cette teneur indique qu'il y a une alimentation de la nappe par des eaux de type chloruré sodique.

L'ordre de dominance est comme suit :

- ◆ **Parmi les cations:**  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  avec des valeurs en meq/l:

$$173.53 > 41.03 > 37.46 > 5.92.$$

- ◆ **Parmi les anions:**  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$  avec des valeurs en meq/l:

$$162.64 > 88.35 > 3.51 \text{ (figure 13).}$$

#### IV.3.2. Répartition ionique de sondage 2 au niveau de Mekhadma

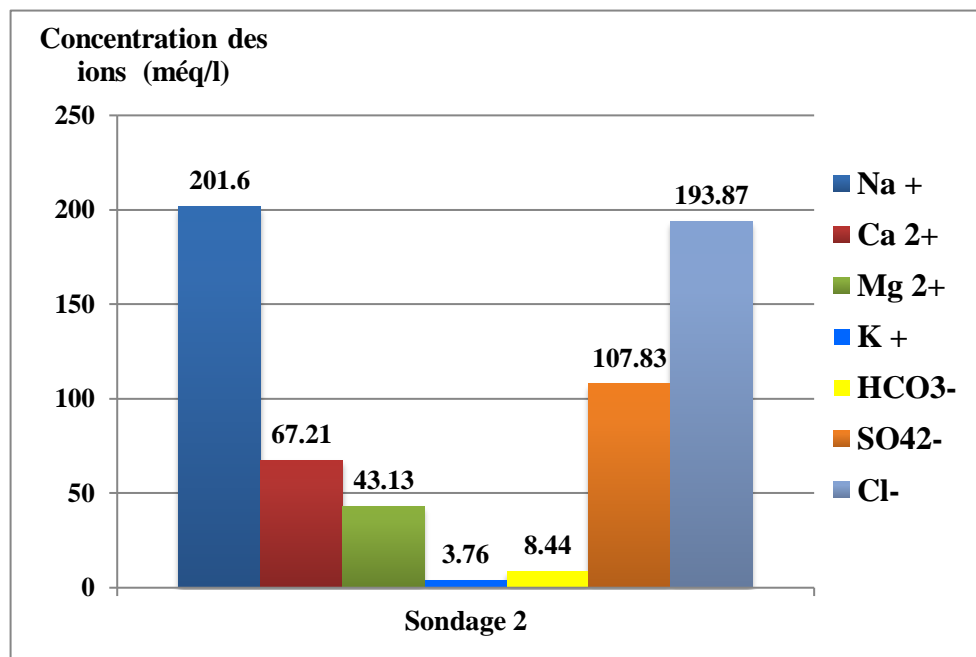


Figure 14. Concentration des ions dans le sondage 2 au niveau de Mekhadma.

En matière de concentration des ions dans ce sondage la proportion de sodium est égale à 63.80% quant aux ions chlore et le sulfate ils affichent des valeurs respectivement 62.51% et 34.80% (figure 14).

L'ordre de dominance est comme suit :

- ◆ **Parmi les cations:**  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  avec des valeurs en meq/l :

201.06 > 67.21 > 43.13 > 3.76.

- ◆ **Parmi les anions :**  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$  avec des valeurs en meq/l :

193.87 > 107.83 > 8.44 (figure14).

### IV.3.3. Répartition ionique de sondage 3 au niveau de Saïd Otba

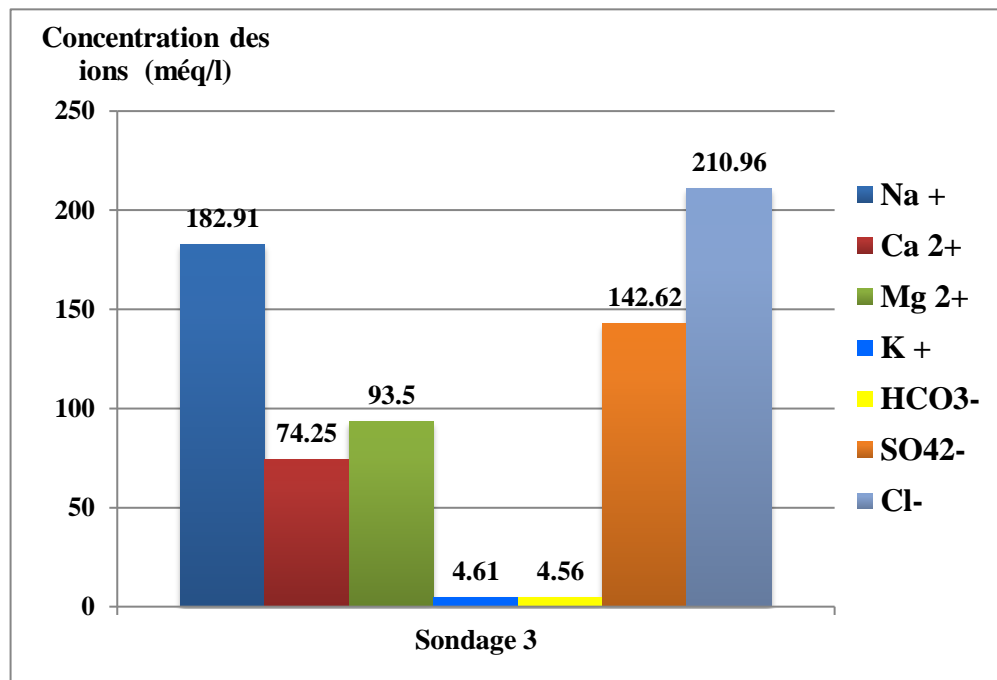


Figure 15. Concentration des ions dans le sondage 3 au niveau de Saïd Otba.

En matière de concentration des ions dans ce sondage la proportion de sodium est égale à 52.05% quant aux ions chlore et le sulfate ils affichent des valeurs respectivement 58.90% et 39.82% (figure 15). Cette élévation des concentrations des ions citée conduit généralement à la formation des sels neutre dits blanc qui sont le chlorure de sodium (NaCl) et le sulfate de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

L'ordre de dominance est comme suit :

- ◆ **Parmi les cations:**  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$  avec des valeurs en meq/l:

182.91 > 93.5 > 74.25 > 4.61.

- ◆ **Parmi les anions:**  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$  avec des valeurs en meq/l:

210.96 > 142.62 > 4.56 (figure15).

### IV.3.4. Répartition générale des ions dans les sondages 1, 2, 3

A partir de la dynamique des ions sur les trois sondages étudiés, les résultats à travers le bilan ionique indiquent clairement un déséquilibre au sein des concentrations des ions avec une supériorité remarquable du sodium, chlore et sulfate avec des proportions importantes par rapport aux autres ions (figure 16). Ce cas de figure est expliqué par la nature chimique de chaque ion, d'après (MASSOUMI, 1968., JABER, 1970 et SERVANT, 1975) les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  ont une forte mobilité dans le sol réputé pour sa légèreté exposée entre la nappe phréatique à la base et le climat évaporant en surface.

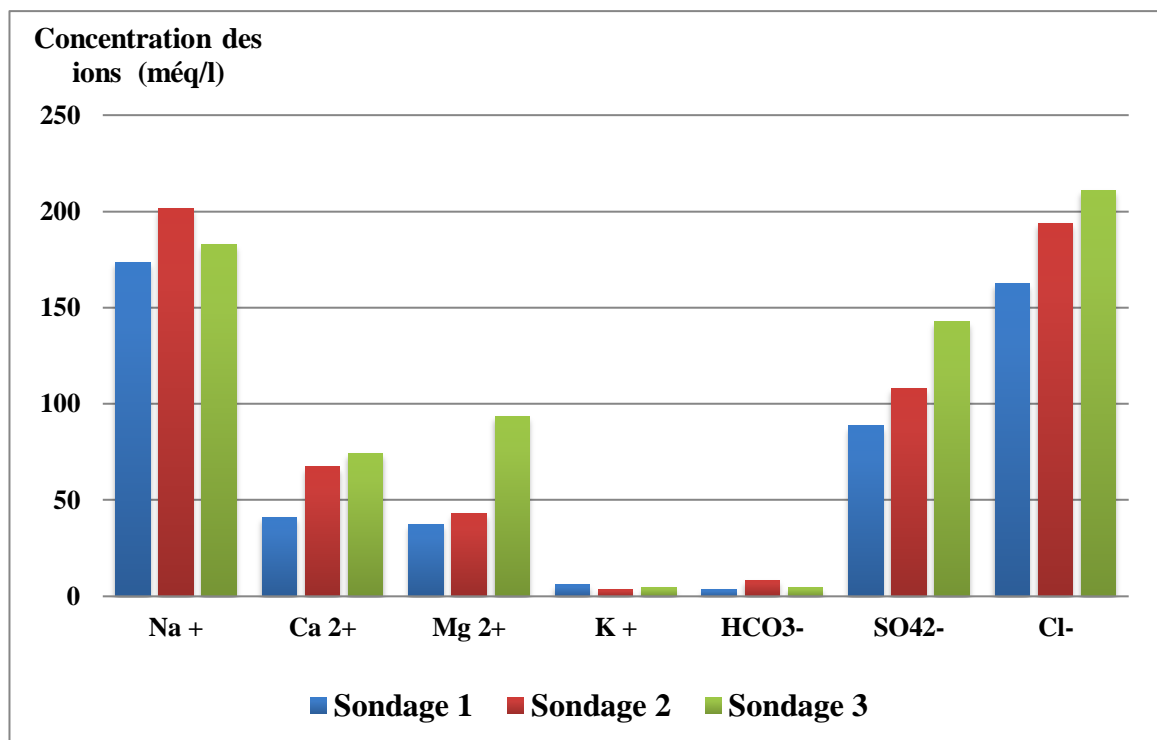


Figure 16. Répartition générale des ions dans les sondages 1, 2 et 3.

## IV.4. Paramètres physico-chimiques

### IV.4.1. pH

Le pH, mesure la concentration en ions  $\text{H}^+$  de l'eau. Il détermine ainsi l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. La balance entre acide et base sur une échelle est de 0 à 14, alors que le pH de neutralité est 7.

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, entre autres, la température et l'origine de l'eau.

Sur l'histogramme de variation de pH (figure 17) on observe que la valeur minimale est égale à 7.66 au niveau de sondage 1 (Exploitation agricole SNV) et la valeur maximale est égale à 7.92 au niveau de sondage 2 (El Mekhadma). ces valeurs attestent de la neutralité des pH du sol et confirment les faciès chimiques chlorurés sodiques.

Les pH de point de prélèvement demeurent homogènes et proches de la neutralité à légèrement alcalins.

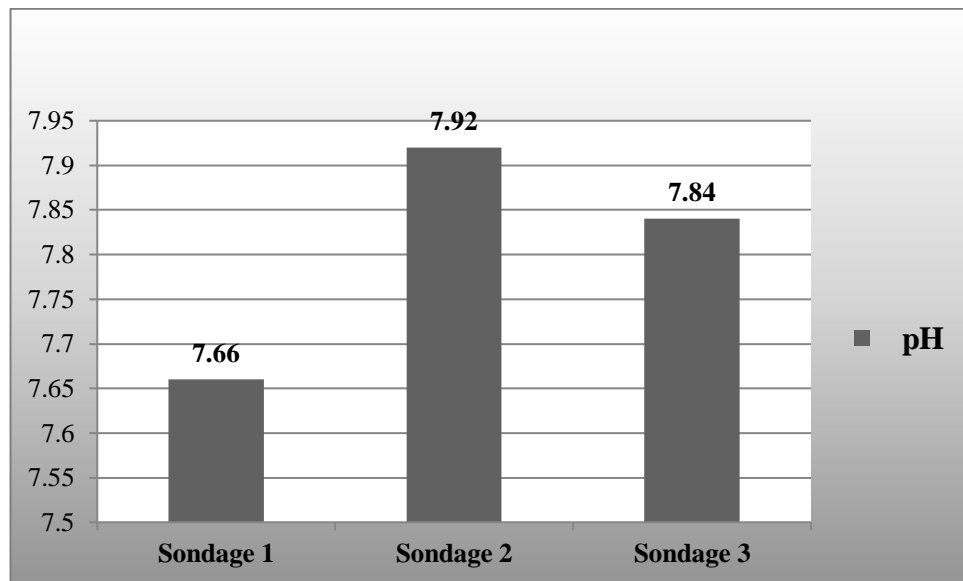


Figure 17. Variation de pH dans les trois sites étudiés.

#### IV.4.2. Conductivité électrique (C.E)

##### IV.4.2.1. Salinisation horizontale

La salinité d'une eau, ou teneur en matière soluble, peut s'exprimer facilement par sa conductivité électrique à 25 degrés Celsius (CE 25°C).

Sur l'histogramme de variation de CE on observe que la valeur minimale de CE enregistrée en amont est de 19,5 ds/m au niveau de sondage 1 (Exploitation agricole SNV) et la valeur maximale est affichée en aval avec une valeur de 26,8 ds/m au niveau de sondage 3 (Saïd Otba) (figure 18).

Cela confirme l'évolution de la salinité allant du sud vers le nord, Conformément au sens d'écoulement des eaux phréatiques (GUANDOUZ et al., 1992).

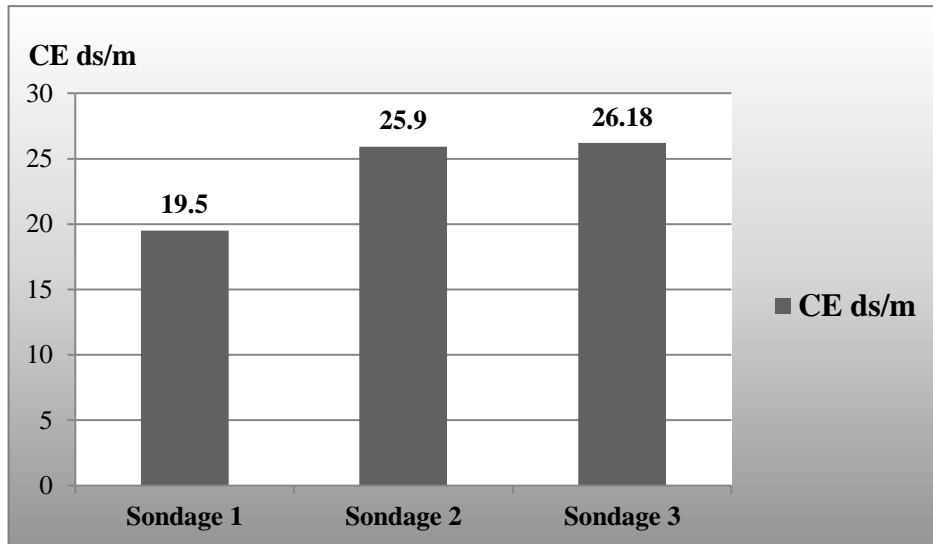


Figure 18. Variation de CE horizontalement dans les trois sites étudiés.

#### IV.4.2.2. Salinisation verticale

A travers les trois figures ci-dessous (19. 20. 21), les pseudo-horizons des trois sondages représentent le maximum de salinité par rapport aux autres horizons, cela confirmée par les valeurs élevées de la conductivité électrique respectivement 63.8 dS/m, 68 dS/m à 84.7 dS/m. Ces valeurs reflètent sur le taux des concentrations des ions dans ces zones, ce qui témoigne d'un mouvement ascendant des sels solubles.

L'ascendance des ions est respectée clairement entre l'eau de la nappe et la surface du sol correspondant au pseudo horizon.

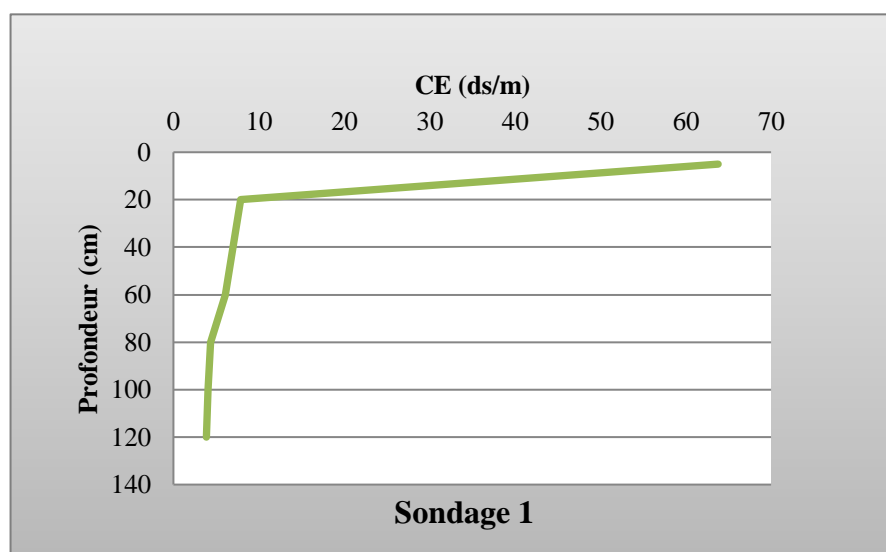


Figure 19. Courbe de variation de CE selon la profondeur.

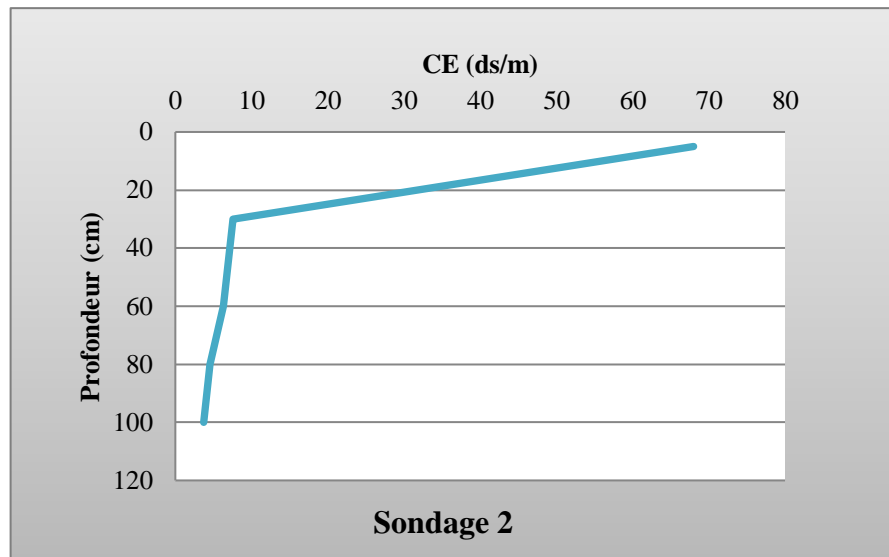


Figure 20. Courbe de variation de CE selon la profondeur.

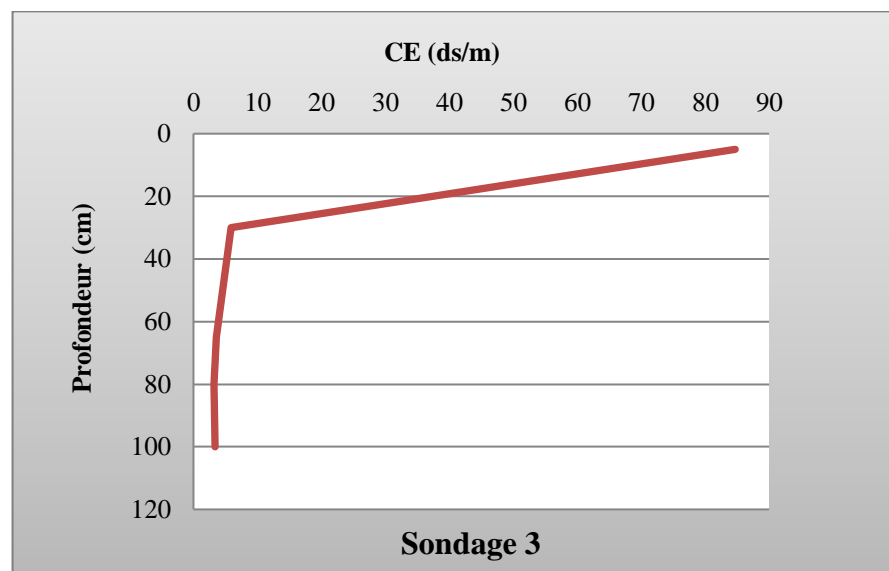


Figure 21. Courbe de variation de CE selon la profondeur.

#### IV.5. Evolution des rapports inter-éléments de l'amont à l'aval

##### IV.5.1. Evolution de rapport $[Ca^{2+}] / [Mg^{2+}]$ de l'amont à l'aval

D'après la projection des points sur la (figure 22) nous remarquons que la majorité des points représentent le rapport de  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  supérieures à 1. Par conséquent on assiste à une dominance de teneur en  $Ca^{2+}$  par rapport au  $Mg^{2+}$  dans la solution du sol.

Ce rapport nous permet de déterminer la manière selon laquelle évolue la dissolution des ions évaporitiques ( $Ca^{2+}$  indicateur de formation carbonatée et  $Mg^{2+}$  indicateur de dolomite).

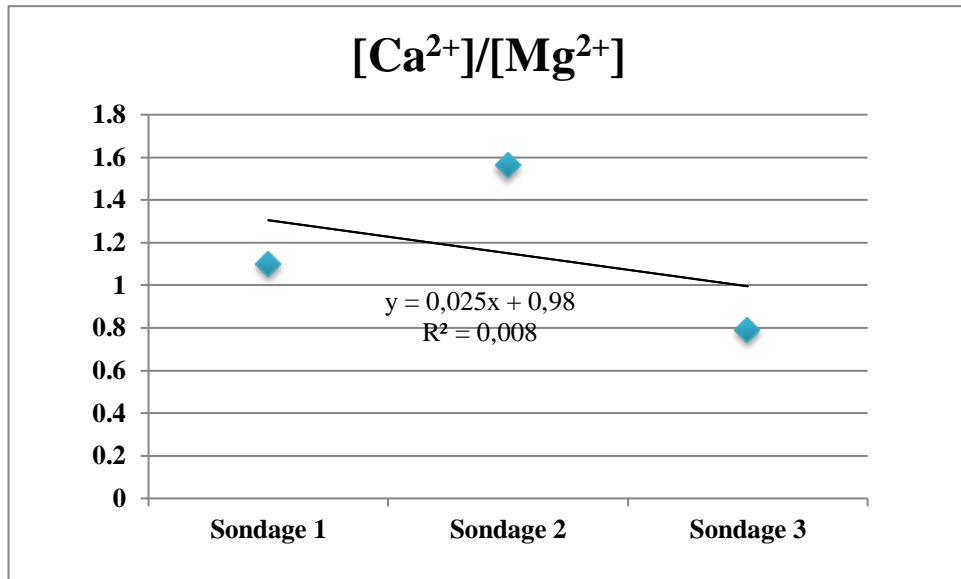


Figure 22. Evolution de rapport  $[Ca^{2+}]/[Mg^{2+}]$  de l'amont à l'aval

#### IV.5.2. Evolution de rapport $[SO_4^{2-}]/[Cl^-]$ de l'amont à l'aval

D'après la projection des points sur la (figure 23) nous montrons que la totalité des points présentant le  $SO_4^{2-}/Cl^-$  sont inférieurs à 1. C'est-à-dire qu'il y a une dominance de  $Cl^-$  sur  $SO_4^{2-}$  dans la solution du sol.

Ce rapport nous permet de déterminer la manière selon la quelle évolue la dissolution des ions évaporitiques ( $Cl^-$  indicateur de l'halite et  $SO_4^{2-}$  indicateur de gypse).

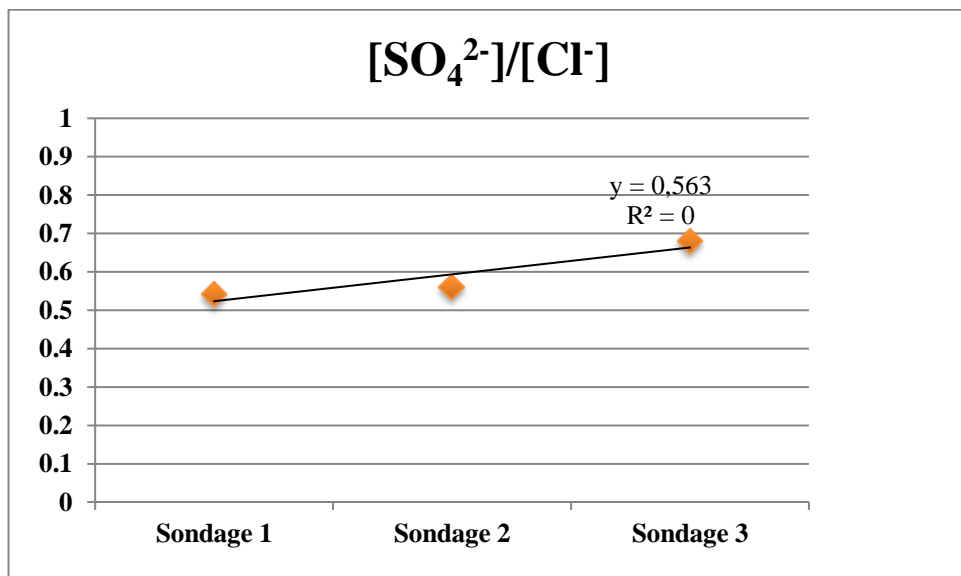


Figure 23. Evolution de rapport  $[SO_4^{2-}]/[Cl^-]$  de l'amont à l'aval.



### IV.5.3. Evolution de rapport $[Na^+]/[Ca^{2+}]$ de l'amont à l'aval

D'après la présentation graphique du rapport  $Na^+/Ca^{2+}$  (figure 24) elle illustre que la totalité des points présentent le rapport  $Na^+/Ca^{2+}$  est supérieur à 1. Indiquant un enrichissement en ion sodium. Ce qui traduit l'influence de la matrice Halite ( $NaCl$ ) sur la matrice Gypse ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ).

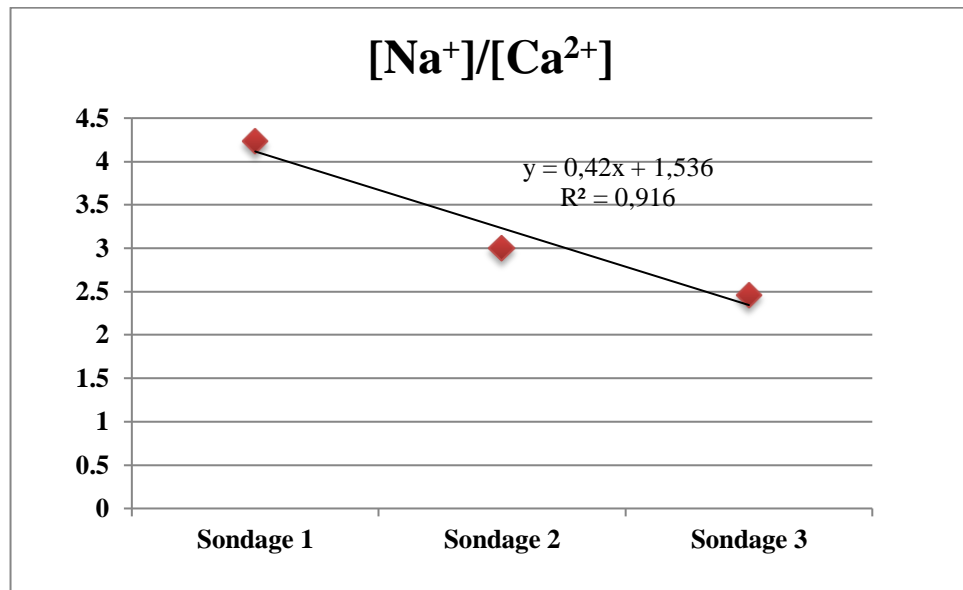


Figure 24. Evolution de rapport  $[Na^+]/[Ca^{2+}]$  de l'amont à l'aval.

### IV.6. Faciès géochimique des eaux

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 (figure 25) montre sur le triangle des cations que la majorité des points tendent vers le pôle sodique. Sur le triangle des anions, on remarque que la majorité des points tendent vers le pôle chloruré. Ainsi, le faciès chimique de la nappe est chloruré sodique.

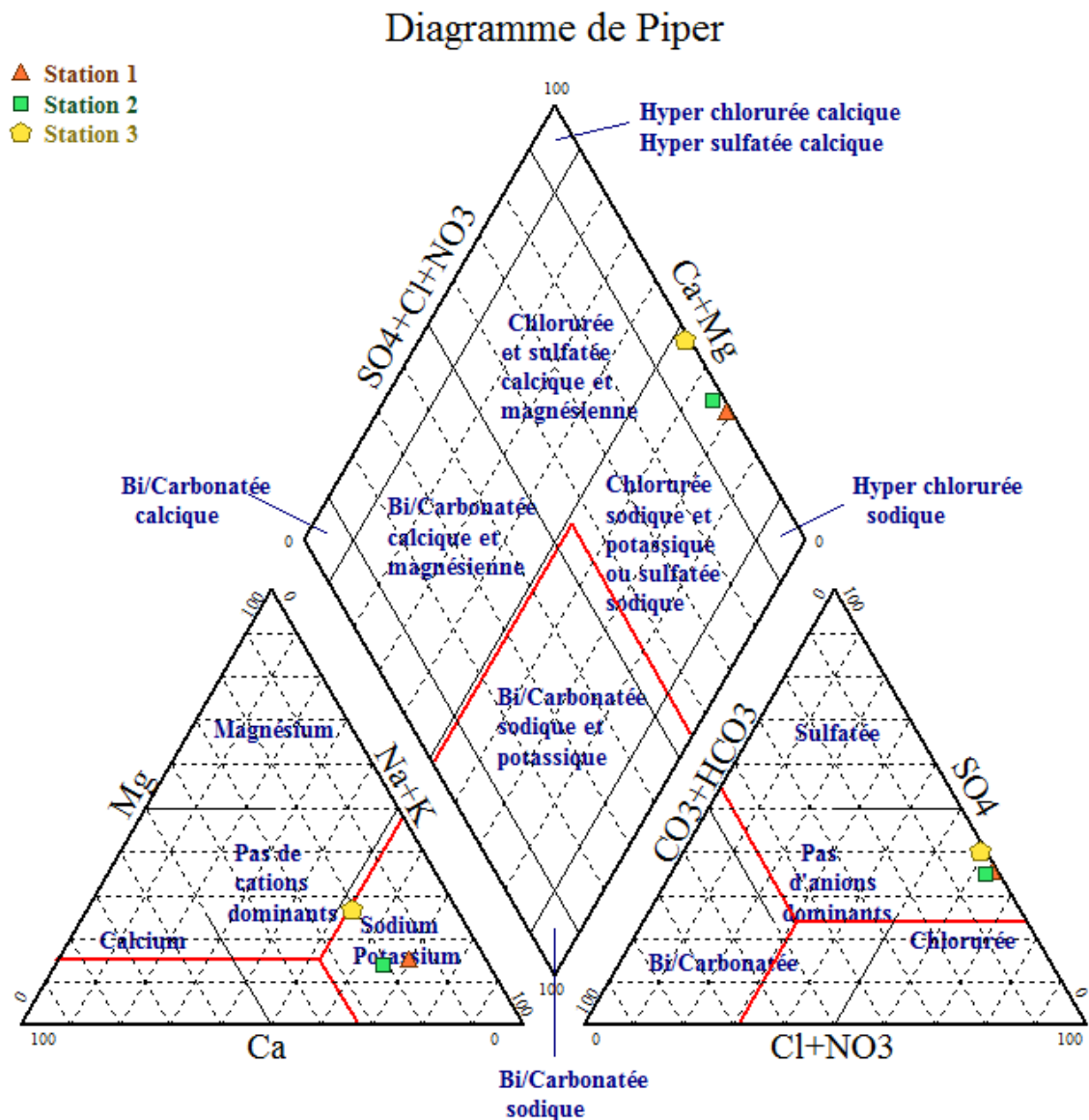


Figure 25. Diagramme de Piper de la nappe phréatique des points étudiés.

## IV.7. Géochimie des sels et des solutions

### IV.7.1. Indice de saturation

L'état de saturation de la solution vis-à-vis des minéraux est exprimé par l'indice de saturation (IS) défini comme le logarithme du ratio entre le produit des activités ioniques (IAP) et la constante de solubilité de la phase solide considérée (Kps) :

$$IS = \text{Log} (Q) = \text{Log} (IAP/K_s) \quad [1]$$

- La sous-saturation de la solution par rapport au minéral se caractérise par un rapport inférieur à 0 et donc le minéral à tendance à se dissoudre.
- La saturation (ou équilibre thermodynamique) se caractérise par un rapport égal à 0 (On considère que l'équilibre est atteint dans l'intervalle  $-0.5$  et  $+ 0.5$  (DEBYE et HUCKEL, 1923)) et aucune variation de la quantité nette de minéral dissous et précipité n'est donc attendue.
- La sursaturation se caractérise par un rapport supérieur à 0 et par conséquent, le minéral à tendance à se précipiter.

Les indices de saturation des principales phases (**Anhydrite** ( $\text{CaSO}_4$ ), **Aragonite** ( $\text{CaCO}_3$ ), **Calcite** ( $\text{CaCO}_3$ ), **Dolomite** ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), **Gypse** ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ), **Halite** ( $\text{NaCl}$ ),  $\text{CO}_2(\text{g})$  et  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ) présentés dans le (tableau 05), ces indices de saturation des minéraux dissous dans les eaux de la nappe phréatique ont été calculés à partir de la formule [1]. Ils montrant la sensibilité des minéraux carbonatés en l'occurrence la dolomite, la calcite et l'aragonite à la précipitation, Ceci est également le cas pour les minéraux évaporitiques, notamment le gypse et l'anhydrite

**Tableau 05. L'indice de saturation des principales phases.**

Phases SDP	Anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ )	Aragonite ( $\text{CaCO}_3$ )	Calcite ( $\text{CaCO}_3$ )	$\text{CO}_2(\text{g})$	Dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )	Gypse ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ )	Halite ( $\text{NaCl}$ )	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
Sondage 1	- 0.16	0.64	0.79	- 2.51	1.67	0.06	- 3.44	- 1.51
Sondage 2	0.06	1.43	1.57	- 2.43	3.09	0.28	- 3.31	- 1.51
Sondage 3	0.15	1.09	1.23	- 2.63	2.70	0.36	- 3.32	- 1.51

❖ SDP : sites de prélèvements

#### IV.7.2. Evolution des indices de saturation des phases de l'amont à l'aval

Les minéraux carbonatés (figure 26) présentent des degrés de saturation différents, en effet, celui de la calcite varie de 0.79 à 1.57, suivi par celui de l'aragonite qui varie de 0.64 à 1.43 et en fin celui de la dolomite qui varie de 1.67 à 3.09.

Si l'on admet que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0.5 à 0.5; on peut dire que les trois éléments carbonatés ont atteint leur état de saturation ou sursaturation dans la plupart des eaux analysées.

Les minéraux évaporitiques montrent des degrés de saturation plus faibles que les minéraux carbonatés (figure 26), le gypse enregistre des indices qui varient de 0.06 à 0.36 (où la totalité des échantillons a atteint le degré de saturation). Suivi de l'anhydrite dont l'indice varie entre -0.16 à 0.15 (où les totales des échantillons a atteint de degré de saturation).

Enfin l'halite dont les indices varient de -3.44 à -3.31 est restée sous saturé malgré la dominance de ses composants chimiques ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) en concentration. Cette sous-saturation expliquée par sa grande solubilité s'exprime par l'action conjuguée de la remontée capillaire de la nappe dans les tranches du sol et les intenses évaporations saisonnières. La manifestation la plus apparente est celle des efflorescences blanchâtres et parfois de croûtes à la surface du sol.

Du se faite nous observons une précipitation prioritaire des substances carbonatés suivi des substances sulfatés et en dernies lieu les substances chlorurés. Ce résultat obtenu est conforme aux résultats trouvés par ailleurs.

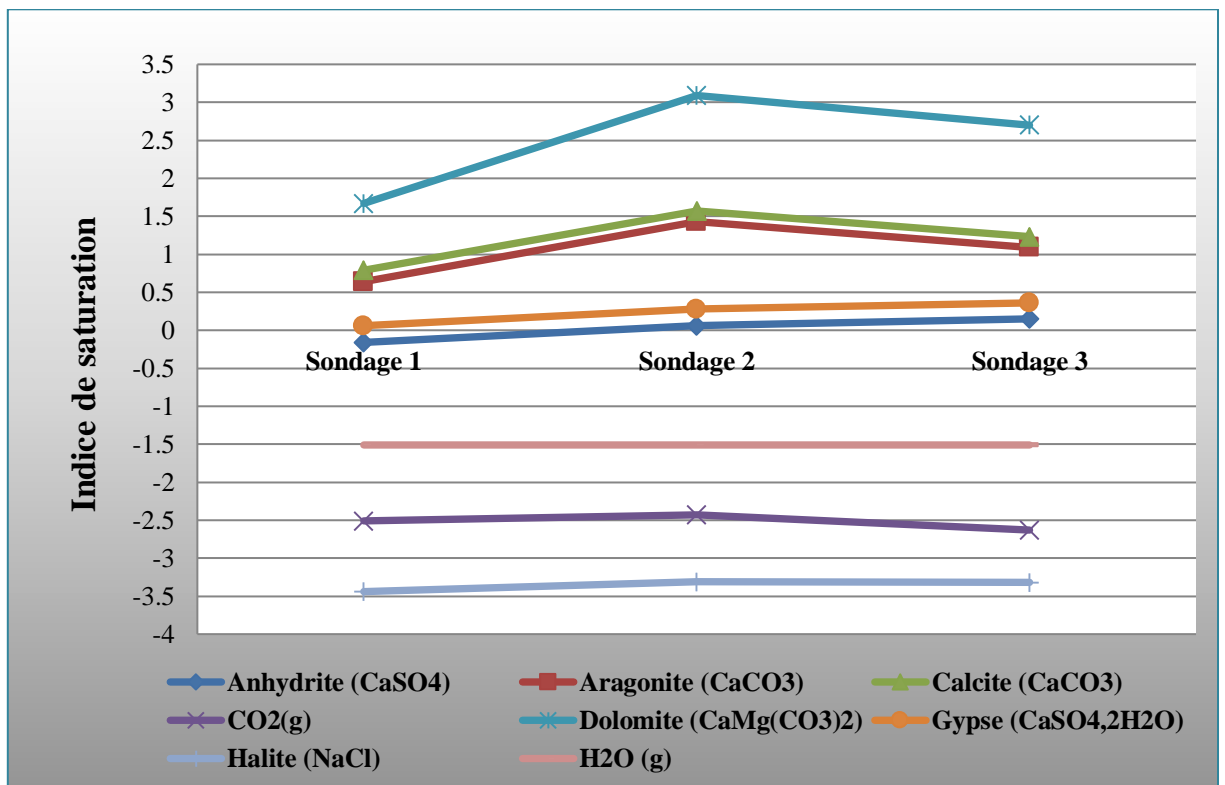


Figure 26. Variation de l'indice de saturation des minéraux.

### IV.7. 3. Relation entre la CE et l'IS des minéraux prépondérantes (Anhydrite, Aragonite, Calcite, Gypse, Halite).

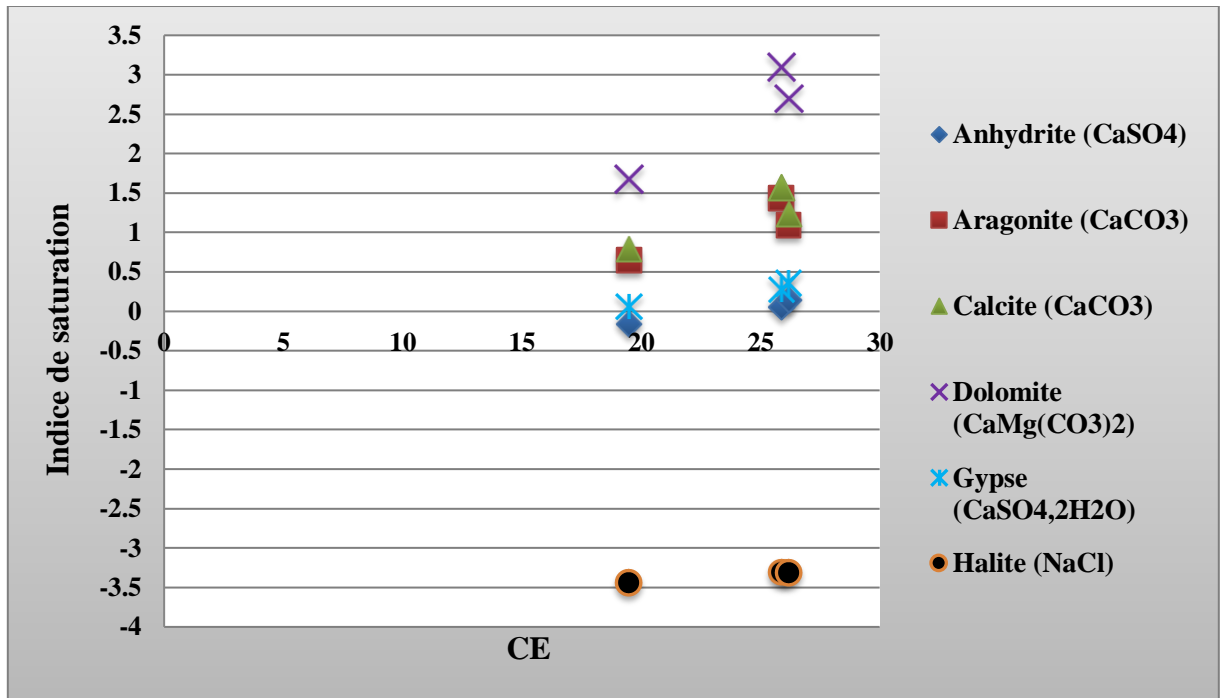


Figure 27. Relation entre la CE et l'indice de saturation des minéraux.

## IV. 8. Conclusion

A travers notre travail mené sur une toposéquence de sol nu, nous remarquons que la salinité augmente de l'amont à l'aval d'une part et du bas vers le haut du sondage. Il est à noter par ailleurs que les substances carbonatées précipitent en premier lieu, secondes des substances sulfatées et en dernier lieu les substances chlorurées.

Ce travail aboutit à confirmer les résultats trouvés antérieurement dans la bibliographie cités par (NEZLI, et al., 2007 ; IDDER, et al., 2012 ; BOUKHRIS, 2012 ; IDDER, et al., 2013 ; AISSANI, et al., 2013 ; IDDER, et al., 2016 ; IDDER, et al., 2018 ; IDDER, 2020).

---

---

*CONCLUSION*

*GÉNÉRALE*

---

---

## Conclusion générale

Notre travail expérimental a été basé sur un terrain non cultivé (sol nu) pour étudier la géochimie des eaux et des sols de la nappe superficielle de Ouargla, ainsi que le comportement des éléments chimiques, à travers la caractérisation géochimique, sachant que le sens d'écoulement principale des eaux phréatique est du sud vers le nord.

A la lumière de cette étude menée sur le sol nu, et sous l'influence des facteurs climatiques qui caractérisent l'aridité et la sécheresse de cette région, les résultats ont montré plusieurs caractères spécifiques :

- ✓ La texture du sol est de type sableuse.
- ✓ Un taux de salure le plus important est atteint au niveau des horizons de surface sur extrait aqueux 1/5.
- ✓ les sols salés impliquant des séries de mesures pour dégager la dynamique saline des sondages et l'évolution des caractères morphologiques et physico-chimiques du sol.
- ✓ Les plus fortes concentrations ioniques sont plus importantes en surface surtout pour le cation alcalin sodium et l'anion halogène le chlore ce qui atteste de leurs grande mobilité des sels et leur concentration en surface, ils mettent en évidence la présence de quantités très importantes de sels, essentiellement les sulfates et les chlorures de sodium.
- ✓ Ce caractère salé résulte souvent de l'interaction entre les eaux de la nappe phréatique salée, constituant la source de la salinité, et le milieu récepteur qui est le sol nu.
- ✓ Les eaux de la nappe phréatique sont extrêmement salées leurs conductivités électrique sont très élevées dépassant 26.18 ds/m.
- ✓ Un faciès chimique le plus dominant : chlorure sodique.
- ✓ La représentation graphique des éléments chimiques a permis une augmentation des teneurs en éléments solubles comme les (chlorure, magnésium, sodium, et sulfate) avec l'augmentation de la conductivité électrique.
- ✓ L'évolution géochimique de la salinité des eaux de la nappe phréatique, montre la forte sensibilité des minéraux carbonatés à la précipitation, et à un degré moindre les minéraux évaporitiques.

En fin, il est important de signaler que la précipitation des substances salines dépend d'une part de leurs concentrations et surtout de la nature de leurs anions d'autre part.



*RÉFÉRENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*





**Références bibliographiques**

---

- ABBANI, B., ABDE-LALI, Y. 2005.** Contribution à l'étude de la qualité des eaux phréatiques sur l'état de dégradation de la palmeraie de la cuvette de Ouargla, *Mém. Ing, Univ, Ouargla*, 7p.
- 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.
- AISSANI, B., BOUTRIKA, R., NEZLI, I.E., OUBIRA, S., ABOUB, K. 2013.** Contribution à l'étude hydrogéochimique des eaux et des formations de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla – Algérie .*Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE 2013 Ouargla, Univ, Ouargla, Fac. Des Sciences de la Nature et de la vie.*
- 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.
- APPELO, C. et POSTMA, D. 1993.** Geochemistry, groundwater and pollution. *Balkema*. 479p.
- ASKRI, M. BELMECHERI , A. BENRABAH , B. BOUDJEMA , A. BOUMENDJEL , K. DAOUDI , M. DRID, M. GHALEM, T. DOCCA , A. M. GHANDRICHE , H. GHOMARI , A. GUELLATI, N. KHENNOUS, M. LOUNICI , R. NAILI, H. TAKHERIST, D. ET TERKMANI, M., 2007.** Géologie de l'Algérie .*Contribution de SONATRACH division Exploration, Cent .de Rech. et Dév. et Div. Petroleum Engineering et Développement .Ed. Schlumberger wec sonatrach.* 93p.
- AUBERT, G. 1960.** Méthode d'analyse des sols. C.R.D.P, *Marseille*, 546 P.
- AUBERT, G. 1975.** Les sols sodiques en Afrique du nord. *Annuaire de l'I.N.A. Alger*, 6(1), pp.185- 195.
- AUBERT, G. 1978.** Méthodes d'analyses des sols. C.R.D.P., *Marseille*, 189 p.
- AUBERT, G. 1983.** Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. *Cahiers de l'ORSTOM, Série Pédologie*, 20 (1) : 73–78.
- AUMASSIP, G., DAGORNE, A., ESTORGES, P., LEFEVRE-WITIER, PH., MAHROUR, M., MARMIER, F., NESSON, C., ROUVILLOIS-BRIGOL, M., & TRECOLLE, G. 1972.** Aperçu sur l'évolution du paysage Quaternaire et le peuplement de la région de Ouargla. *Lybica XX*: 206-256.
- BACH HAMBA, I. 1992.** Bonification des sols. Cas du périmètre irrigué de Kalaât Landelous. Caractérisation de la salinité initiale du sol en vue de la détermination des facteurs et des zones à risque de salinisation. *Mémoire en pédologie et mise en valeur des terres- Institut National Agronomique de Tunisie*, 170 p.

- BAIZE, D. 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie (choix-expression-présentation interprétation).ED.INRA, 172p.
- BARBERIO, L. et 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.*  
*Batna., 147p.*
- BELLAOUEUR, A. 2008 -** Étude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de
- BENMOUAFFEKI, D. 2011.** Etude de la variabilité spatio-temporelle de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'université de Ouargla, *Diplôme d'ingénieur d'Etat, agronomie saharienne, Départ des Sciences Agronomiques, Univ Ouargla.*
- BG ingénieurs conseils. 2004.** Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet d'impact sur l'environnement. *Rapport de la mission II final. Investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau. Bonard & Gardel, Lausanne, 11-43.*
- 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.*
- BOUKHRIS, K. 2012.** Mode de dégradation des aridosols par précipitations salines saisonnières, approche géochimique. (Cas de la cuvette de Ouargla). *Mémoire de fin d'études d'ingénieur en Ecologie. Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 75 p.*
- 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).*
- BRIERE, P.R. 2000.** Playa, Playa lake, sabkha: proposed difinitions for old term. *Journal of Arid Environments 45: 1-7.*
- 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.*
- CONDOM, N. 2000.** Analyse et modélisation couplée des processus hydrogéochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols rizicoles irrigués de l'Office du Niger (Mali). *P 21-28.*
- CONDOM, N., KUPER, M., MARLET, S., VALLES, V., KIJNE, J. 1999.** Salinization , alkalization and sodification processes in Punjab (Pakistan). *Characterisation of geochemical and physical Processes of soil degradation . Land Degradation and Development, 10:123–140*
- COOKE, R.U., WARREN, A., GOUDIE, S.A. 1993.** Desert geomorphology. *Ed. UCL, London, 526p.*

- DAOUD, Y. et HALITIM, A. 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse*, 5, pp. 151-160.
- DEBYE, P. HÜCKEL, E. 1923.** Zur théorie der electrolyte I, *Phys. Z. (Leipzig)*, 24, pp. 185-197.
- DIF, S. 2017.** Contribution à l'étude de l'impact des rejets des eaux usées dans les palmeraies sur la qualité des eaux phréatiques: cas du Ksar de Ouargla, *mémoire master, Université kasdi Merbah, Ouargla*, 82p
- DJAMAI, R. 2007.** Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du système endoréique du lac Fetzara (Nord-Est algérien) « approche géochimique et évolution spatio-temporelle des phénomènes ». *Thèse Doct., Institut National Agronomique, Alger*; 167 p.
- DJIDEL, M. 2008.** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). *Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba*, p 58
- DJILI, B. 2018.** Contribution à l'étude des sols alluviaux des bassins du M'zab : Approche morpho-analytique, organisation spatiale et intérêt environnemental. *Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Université Kasdi Merbah, Ouargla*, 210 p
- DUBIEF, J. 1950.** Evaporation et coefficients au Sahara. *Travaux de l'institut de recherches Sahariennes* 6: 13-44.
- DUBIEF, J. 1952.** Le vent et le déplacement du sable au Sahara. *Ed.: I. R. S., Alger, Tome VIII*, 123-163.
- DUBIEF, J. 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. *Ed. Service des études scientifique, Alger*, 457 p.
- DUBIEF, J. 1959.** Le climat du Sahara. *Ed. Inst. Rech.Saha., Alger. Mémoire hors série. Tome I*. 307 p.
- DUBOST, D. 1992.** Aridité, agriculture et développement : cas des oasis algériennes. *Sécheresse*, 3, pp. 85-96.
- DURAND, J.H. 1958.** Recherche sur les sels apportés au sol par les pluies. Travaux des sections pédologie et agrologie. *Bull. n° 4 et Gén. N° 5, SES, Birmouradrais*.
- DURAND, J.H. 1983.** Les sols irrigables. Etude pédologique. *Presse Univ. de France*, 339p.
- EMBERGER, L. 1954.** Une classification biogéographique des climats. *Trav. Lab. Bot. Géol. Zool., série Botanique, Faculté des sciences, Univ. Montpellier, n° 7*, pp. 3-43.
- FAO/UNESCO, 1967.** Irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity. *Rolland SS67/ D55A, Paris*, 343p.
- GAUCHER, G. & BURDIN, S. 1974.** Géologie, Géomorphologie et Hydrologie des terrains salés. *Ed. P.U.F., Paris*, 231 p.

- GAUCHER, G. 1968.** Traité de pédologie, agricole, le sol et ces caractéristiques agronomiques. éd DUNOD. Paris. 578p.
- GUENDOZ, A. REGHIS, Z. & MOULLA, A.S. 1992.** Etude hydro-chimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. *Rapport n° 1*, 65 p.
- HACHICHA, M., M'HIRI, A., BOUKSILA, F., BACH HAMBA, I. 1997.** Variabilité et répartition de l'argile et de la salinité dans le périmètre de Kalaât Landelous (Tunisie). *Application à l'évaluation des risques de salinisation. Étude et Gestion des Sols*, 4, 1, 1997, pages 53 – 66
- HALITIM, A. 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. *Thèse Doct. 3ème Cycle, Univ. Rennes*, 171p.
- HALITIM, A. 1985.** Contribution à l'étude des sols des régions arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. *Thèse Sci ; Reines*, 384 p.
- HALITIM, A. 1988.** Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U., Alger, 141p
- HAMDI-AÏSSA, B. & FEDOROFF, N. 1997.** Salt affected sol functioning at the Ouargla Oasis (Northern Sahara, Algeria). *In.: International symposium on sustainable management of Salt affected soils. (ed. El-Gala, A; & Bum, W.E.H.), pp. 153-154; ISSSFAO, CAIRO.*
- HAMDI-AÏSSA, B. & GIRARD, M. C. 2000.** Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. *Sécheresse 3: 179-188.*
- HAMDI-AÏSSA, B. 2001.** Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). *Thèse Doct. Paris-Grignon*, 307 p.
- HAMMOU, A. A. 2014.** Géochimie des eaux de la nappe superficielle de la basse vallée de l'oued M'ya (Algérie). *Mémoire master. Université Kasdi Merbah Ouargla*, pp. 50.
- 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*
- HULLIN, M. 1983.** Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. *Cours photocopiés, vol. 3, INA, El-Harrach Alger* 139 p.
- IDDER M. A., 2015.** Le manuel pratique des manipulations chimiques au laboratoire : illustrations et modes opératoires pédologiques. *Université Kasdi Merbah Ouargla, Faculté SNV, Département des sciences agronomiques*, 196p.
- IDDER, M. A. 2006.** Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nu non irrigué dans la région de Ouargla. *Mém., Mag., I.N.A. El Harrach*, 100p.

- IDDER, M. A. 2020.** Approche géochimique à la prédiction de la salure des sols nus en conditions arides. *Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 156 p.*
- IDDER, M. A., IDDER, T., CHELOUFI, H., NEZLI, I. E. 2012.** Précipitations et accumulations salines estivales dans les sols nus sableux en zones arides. cas de la Région de Ouargla. *Revue des Bio Ressources* Vol. 2, no. 1, pp.58-64.
- IDDER, M. A., IDDER, T., NEZLI, I. E., BERKAL, I., SAYAH, Z., IDDER, A., HACINI, M. 2013.** Action des eaux des nappes superficielles sur les propriétés d'un sol sableux non cultivé de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional algérien). *Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement Univ, Ouargla, Fac. Des Sciences de la Nature et de la vie .pp.485-487.*
- IDDER, M. A., IDDER, T., NEZLI, I. E., BOUKHRIS, K., HADDOU; M. 2018.** Qualité géochimique des eaux de la nappe phréatique et son impact sur les sols nus (le cas de l'oasis de Ouargla). *7<sup>ème</sup> Workshop sur l'agriculture saharienne : Potentialités Agrobiologiques des Sols: Problèmes posés et Valorisation (Agro-Bio-Sol 2018). Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie.*
- IDDER, M. A., IDDER, T., SERRAYE, A., KEMASSI, H. 2016.** Analyse géochimique des eaux d'un aquifère superficiel en région aride (Cas de l'oasis de Ouargla : Sahara algérien). Le deuxième Forum international sur: « Évaluation, économie et protection des ressources en eau ». *Univ, Ouargla, Fac. Des Sciences de la Nature et de la vie.*
- IDDER, T., IDDER, A., TANKARI DAN-BADJO, A., BENZIDA, A., MERABE, T., NEGAIS, H., SERRAYE, A., 2014.** Les oasis du Sahara algérien, entre excédents hydriques et salinité. : *L'exemple de l'oasis de Ouargla. Revue des Sciences de l'Eau 27(2) (2014) 155-164*
- IDDER. M. A., NEZLI, I. E., IDDER, T., CHELOUFI, H., SERRAYE, A. 2016.** Intrusion minérale par modélisation géochimique dans les textures sableuses des sols. Le cas du Sahara septentrional algérien. *J. Mater. Environ. Sci. 7 (10) (2016) 3724-3729, ISSN : 2028-2508, CODEN: JMESCN. RQM8\_Nador. p.p. 3724-3729*
- JABER, A. 1970.** Contribution à l'étude expérimentale des mouvements ascendants et descendants des solutions de sel de sodium (Carbonates, sulfates, chlorures) et de certains aspects de leurs actions physiques du sol soumis à l'influence d'une nappe peu profonde. *Thèse 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Paris 122 p*
- KOUZMINE, Y. 2003.** L'espace saharien algérien, Dynamiques démographiques et migratoires.
- KUST, G.S. 1997.** The main tendencies in the dynamics of soil salinity within delta areas of the Amu Darya and Syr Darya rivers in conditions of active modern desertification. *Eurasien Soil Science 30.*
- LELIEVRE, R.F. 1969.** Assainissement de la cuvette de Ouargla. *Ministère des travaux publics et de la construction, Rapports géohydrauliques n° 2, 18 p. ; n° 3, 84 p.*

- LHOTE, H. 1984.** Le Hoggar, espace et temps. *Ed: Armand Colin, Paris, 240 p.*
- 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*
- MASSOUMI, A.M. 1968.** Etude expérimentale sur le mécanisme du mouvement capillaire de l'eau et des sels solubles dans le sol. Influence des rapports cationiques des solutions et des textures sur le processus d'alcalinisation. *Thèse Docteur-Ing. Univ. Paris, 120 p.*
- MCNEAL, B.L & COLEMAN, N. T. 1966.** Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Science Society America Proceedings, 30 :308–312.*
- MONOD, T. 1992.** Du désert. *Sécheresse 3(1): 7-24.*
- 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.*
- NESSON, C. 1978.** L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du bas Sahara algérien. *In : Recherche sur l'Algérie. (Ed C.N.R.S. Paris), pp. 7–100*
- NEZLI, I.E. 2004.** Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux de lanappe phréatique de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla), *Mémoire de Magistère, univ, Annaba, 152p*
- NEZLI, I.E. 2009.** Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). *Thèse de doctorat en sciences hydrauliques, Université de Biskra, Algérie, 117p*
- NEZLI, I.E., ACHOUR, S., DJABRI, L. 2007.** Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued m'ya (Ouargla). *Larhyss Journal n°6 : 121- 134.*
- ONM, 2009/2018.** Rapport sur les données climatiques de la région de Ouargla, *Office National de la Météorologie de Ouargla, 10 p.*
- Ouargla soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de solutions palliatives (Sahara nord-est septentrional - Algérie) .*Mémoire de majester , université de*
- ROUAHNA. H., 2007.** Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région de Ain Ben Noui-Biskra. *Thèse Mag. Université de Batna, 83p.*
- ROUVILLOIS-BRIGOL, M. 1975.** Le pays de Ouargla (Sahara algérien). Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. *Pub. Univ. Sorbonne, Paris, 361 p.*
- RUELLAN, A. & DOSSO, M. 1993.** Regards sur le sol. *Ed. Foucher, Paris, 192 p.*



- SAIS A., 2006.** Impact de la situation topographique sur la salinisation du sol et le changement floristique (cuvette de Ouargla). *Mém. Ing, Univ, Ouargla*, 85p.
- SERVANT, J. 1975.** Contribution à l'étude des sols halomorphe. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-ouest de la France. *Thèse doct, Univ Montpellier, 2 tomes, 200p.*
- SERVANT, J. 1986.** Dynamique des sels à la surface du globe : la salinisation des sols. *Dans : Séminaire drainage et salinité/ AFEID (réd.), p. 99–152, Montpellier, France.*
- SERVANT, J.M. 1978.** La salinité dans le sol et les eaux : caractérisation et problèmes D'irrigation drainage. *Bull. B. R. G. M. Sect. N°2, PP. 123-142*
- SLIMANI, R. 2016.** Etude qualitative des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité environnementale d'un aquifère au climat aride méditerranéen : cas de la cuvette de Ouargla, Algérie. *Thèse. Doctorat. Univ, Ouargla, 149p.*
- SLIMANI, R., GUENDOZ, A., TROLARD, F., SOUFFI MOULLA, A., HAMDIAÏSSA, B., BOURRIE, A. 2017.** Identification of dominant hydrogeochemical processes for groundwaters in the Algerian Sahara supported by inverse modeling of chemical and isotopic data, *Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 1669–1691.*
- SO, H.B. & AYLMOORE, L. G. A. 1993.** How do sodic soils behave? The effects of sodicity on soil physical behavior. *Australian Journal of Soil Research, 31:761–777.*
- SUMNER, M. E. 1993.** Sodic soils : new perspectives. *Australian Journal of Soil Research, 31:683–750.*
- U. S. SALINITY LABORATORY. 1954.** Diagnostique and improvement of saline and alkali soils hand book n°60.USA, 160p.
- UNESCO. 1972.** Projet ERESS. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. *Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris. 100 p.*
- VAN BEEK, C. & VAN BREEMEN, N. 1973.** The alkalinity of alkali soils. *Journal of Soil Science, 24(1) :129–136.*
- 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, 146 pp.*
- 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.*
- VAN BEEK, C. & VAN BREEMEN, N. 1973.** The alkalinity of alkali soils. *Journal of Soil Science, 24(1):129–136.*
- YOU, W. R., MENG, F. H., XIAO, Z. H. & OUYANG, L. 1992.** Salt-water dynamics in soil. I. Salt-water dynamics under unsaturated soils under stable evaporation conditions. *Pedosphere, 2, 3, pp: 219-235.*

**YOUCEF, F. 2016.** Contribution à la reconstitution du paléo environnement dans les sols du Sahara septentrional. Cas des Sebkhass de Ouargla. *Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Université de Ouargla, Algérie, 167p*



---

---

# *ANNEXES*

---

---

**Annexe N°01. Aquifères du CI et CT à Ouargla (IDDER et al, 2016).**

Chronostratigraphie	Unités hydrogéologiques		Prof	Lithostratigraphie	Lithologie	
Quaternaire	Nappe phréatique		20m			
Tertiaire	Nappe du Complexe Terminal	Nappe des sables	120m	Mio-Pliocène		
		Impermeable		Eocène évaporitique		
		Nappe des calcaires (Sénono-Eocène)	520m	Eocène carbonaté		
Secondaire		Crétacé	Impermeable	700m	Sénonien carbonaté	
			Nappe du turonien		Turonien	
	Nappe du Continental Intercalaire	Impermeable	1100m	Cénomanién		
		Nappe de l'Albien		2000m	Vraconien	
				Albien		
				Aptien		
				Barrémien		

**Annexe N°02. Echelles de la Salinité du sol (extrait aqueux 1/5) (AUBERT, 1978).**

CE(ds/m)à25°C	Degrés de salinité
CE <0,6	Sol non salé
0,6 <CE <1,2	Sol peu salé
1,2 <CE <2,4	Sol Salé
2,4 <CE <6	Sol très salé
CE >6	Sol extrêmement salé

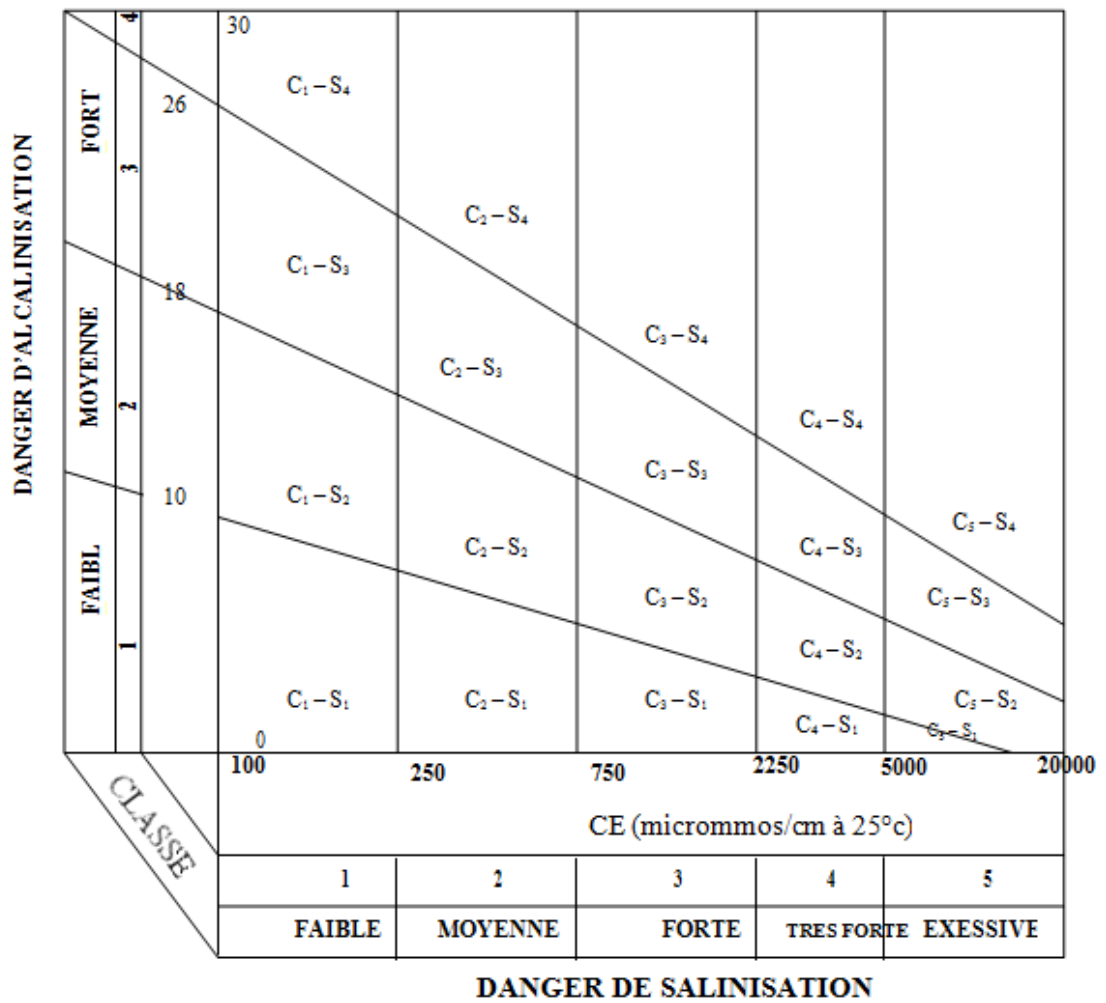
**Annexe N°03. Echelles de pH du sol (extraiteaux1/5) (GAUCHER, 1968).**

<b>pH</b>	<b>Sol</b>
6,75 <pH≤ 7,25	Neutre
7,25 <pH≤ 8,5	Alcalin
pH>8,5	Très alcalin

**Annexe N°03. Classe du danger d'alcalinisation du sol (U.S.S.L ,1954).**

<b>Classe</b>	<b>SAR</b>	<b>Caractéristiques</b>
S1	0 à10	Eaux faiblement sodiques, utilisable pour l'irrigation de presque Tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation bien que certaine culture sensible au sodium puissent être gênés (avocatier).
S2	10 à18	Eaux moyennement sodique, le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et forte capacité d'échange.
S3	18 à26	Eaux fortement sodiques, provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols.
S4	26 à plus de 30	Eaux très fortement sodique, le danger d'alcalinisation est très fort.

## Annexe N°04



**Figure 1:** Classification des eaux des nappes sur le diagramme de l'USSL modifié par Durand (1958, 1983).

**Annexe N°05**



**Photo N°01. Vue générale du Site 1.**



**Photo N°02. Vue générale du Site 2.**



**Photo N°03. Vue générale du Site 3.**



**Photo n°04 : prélèvement des échantillons.**



## Géochimie des sols et des eaux de la nappe superficielle de Ouargla

**Résumé**— Les zones arides de Sahara septentrional sont connues pour leurs caractères d'hydromorphie et d'halomorphie. Ce caractère salé résulte souvent de l'interaction entre les eaux de la nappe phréatique salée, constituant la source de la salinité, et le milieu récepteur qui est le sol nu.

Au vu de ce constat, notre travail s'est intéressé à l'ensemble constitué particulièrement par le système sol nu et la nappe. L'objectif de ce travail est de suivre l'évolution géochimique de la nappe superficielle et l'examen des processus de précipitation des sels dans une parcelle non cultivée située dans la cuvette de Ouargla par une simulation des concentrations en ions majeurs sous l'effet de l'évaporation isotherme (25 C°).

Les résultats obtenus montrent que les eaux de cette nappe possèdent une salinité extrêmement élevée attestée par des valeurs de conductivités éclectiques qui varient, d'amont en aval dans le sens d'écoulement des eaux, de 19.5 dS/m à 26.18 dS/m. Ces hauts valeurs de conductivités électriques placent notre eau phréatique dans la classe C5-S4.

Par ailleurs, les résultats des analyses ioniques mettent en évidence une supériorité remarquable du sodium parmi les cations (sa teneur augmente de 173.53 méq/l en amont à 182.91 méq/l en aval) et du chlore parmi les anions (sa teneur augmente de 162.64 méq/l à 210.96 méq/l), ce qui confère à ces eaux un faciès chimique dominant chloruré sodique. L'approche géochimique indique que par rapport à l'indice de saturation toutes les substances carbonatées sont sur saturées contrairement à l'halite qui restée sous saturée. Quant aux gypsites elles sont à la limite de la saturation.

**Mots clés** — Géochimie, nappes superficielles, précipitations salines, modèle thermodynamique, cuvette de Ouargla

## جيوكيميا التربة والمياه في منسوب المياه السطحي بورقلة

**ملخص** — تشتهر المناطق الفاحلة في شمال الصحراء بخصائصها الهيدرومورفولوجية والهالومورفية. غالبًا ما ينتج هذا الطابع الملحي عن التفاعل بين مياه المياه الجوفية المالحة، التي تشكل مصدر الملوحة، والوسط المستقبل، وهي التربة العارية. في ضوء هذه الملاحظة، كان عملنا مهتمًا بالكل الذي يتكون بشكل خاص من نظام التربة المكشوفة، والذي تم تحديده مسبقًا ومنسوب المياه الجوفية. الهدف من هذا العمل هو متابعة التطور الجيوكيميائي لجدول المياه السطحية وفحص عمليات ترسيب الاملاح في قطعة أرض غير مزروعة تقع في منطقة ورقلة عن طريق محاكاة تركيزات الأيونات الرئيسية تحت تأثير التبخر الحراري (25 درجة مئوية). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المياه في هذه الطبقة الجوفية لها ملوحة عالية للغاية موقفة بقيم التوصيل الانتقائي والتي تختلف، من أعلى مجرى النهر إلى أسفله في اتجاه تدفق المياه، من 19.5 دس/م إلى 26.18 دس/م. تعتبر قيم التوصيل الكهربائي أعلى بكثير من حد الملوحة القياسي وهو 3 دس/م، وبالتالي تنتمي بشكل عام إلى الفئة C5-S4.

بالإضافة إلى ذلك، تُظهر نتائج التحليلات الأيونية تفوقًا ملحوظًا للصوديوم بين الكاتيونات (يرتفع محتواها من 173.53 ميك/لتر في المنبع إلى 182.91 ميك/لتر في المصب) والكلور بين الأنيونات (يرتفع محتواها بـ 162.64 ميك/لتر في المنبع إلى 210.96 ميك/لتر في المصب)، والذي يعطي هذه المياه صفة كلوريد الصوديوم الكيميائية السائدة. يشير النهج الجيوكيميائي إلى أنه فيما يتعلق بمؤشر التشبع، فإن جميع المواد الكربونية تكون مشبعة بشكل زائد على عكس الهاليت الذي يظل تحت التشبع. أما بالنسبة للمواقع الجبسية فهي في حد التشبع.

**الكلمات الدالة** — الجيوكيميا، المياه السطحية، الترسيب الملحي، النموذج الديناميكي الحراري، حوض ورقلة

## Geochemistry of soils and water in the Ouargla surface water table

**Abstract**— The arid zones of northern Sahara are known for their hydromorphy and halomorphy characteristics. This salty character is often the result of the interaction between the water of the salty water table, constituting the source of salinity, and the receiving environment which is the bare soil.

In view of this observation, our work is interested in the whole constituted particularly by the bare soil system, previously defined and the water table. The objective of this work is to follow the geochemical evolution of the surface water table and the examination of the processes of precipitation of salts in an uncultivated plot located in the region of Ouargla by a simulation of the concentrations of major ions under the effect of the isothermal evaporation (25 C°).

The results rise that the waters of this slick possess extremely high salinity attested by eclectic conductivities values that vary, upstream downstream flow direction, of 19.5 dS/m at 26.18dS/m, these electrical conductivity values are greater than the standard salinity threshold limit which is 3 dS/m, hence their generally belonging to class C5-S4.

Otherwise, anionic and cationic analyses results highlight a remarkable superiority of sodium among cations (its content increases from 173.53meq/l upstream to downstream 182.91 meq/l) and chlorine among anions (its content increases 162.64 meq/l 210.96 meq/l), which gives these waters a chloride-sodium dominant chemical facies. The geochemical approach indicates that in relation to the saturation index all the carbonate substances are over saturated contrary to the halite which remained under saturated, as for the gypsites they are at the limit of the saturation.

**Key-Words**— geochemistry, surface water table, saline precipitation, thermodynamic model, bowl of Ouargla