



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques

# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biodiversité et Conservation des Ecosystèmes

## Thème

*Contribution à l'étude de la pollution des sols des zones humides cas de : « chott El Frain » wilaya de Sétif*

Présenté par : - Abi Djamel Eddine  
- Derradj Abd Errahim

Devant le jury :

Président : MAAMRI K. MAA (Univ. Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A)

Encadreur : LAOUFI H. MAA (Univ. Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A)

Examineur: CHOURGHAL N. MCB (Univ. Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A)

Année universitaire : 2015/2016



# Dédicaces



*C'est avec un immense plaisir que je dédie ce travail :*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur A celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que Dieu te garde dans son vaste paradis*

*A toi mon papa*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur à qui je dois humble témoignage de mon affection, ma reconnaissance et surtout mon admiration pour son sacrifice, son dévouement, son soutien moral et ses précieux conseils.*

*A toi ma mère*

*Je dédie ce travail dont le grand plaisir à mes frères Imed, Ishak et Oussama sans oublier ma cher sœur Lynda et sa fille Ines.*

*A mes oncles qui m'ont soutenu à chaque instant de ma vie.*

*A mes tantes, cousins et cousines paternels et maternels et à toute la famille DERRADJ*

*A mon binôme, Abi Djamel eldine*

*A mes chère amies : Salim , Ayoub*

*Anter, Chawki, et NANO*

*A mes camarades de la promotion 2016*

*A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment*

*A/RAHIM...*



# Dédicaces



*C'est avec un immense plaisir que je dédie ce travail :*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur A celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que Dieu te garde dans son vaste paradis*

*A toi mon papa*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur à qui je dois humble témoignage de mon affection, ma reconnaissance et surtout mon admiration pour son sacrifice, son dévouement, son soutien moral et ses précieux conseils.*

*A toi ma mère*

*Je dédie ce travail dont le grand plaisir à mes frères.*

*A mes oncles qui m'ont soutenu à chaque instant de ma vie.*

*A mes tantes, cousins et cousines paternels et maternels et à toute la famille ABI*

*A mon binôme, Derradj Abderrahim*

*A mes chère amies : Salim , Ayoub*

*Anter, Chawki,*

*A mes camarades de la promotion 2016*

*A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment*

**DJAMAL**



# Remerciements



Nous remercions **DIEU**, le tout puissant de nous avoir donné la santé et la force pour accomplir ce travail.

Tous nos remerciements vont à **Mr MAAMRI K.** Maître assistant "A" à la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers à l'université de Bordj Bou Arreridj, qui nous a honoré en acceptant de présider le jury, ainsi que pour le savoir qu'il nous inculqué.

Nous exprimons nos profonds gratitude et nos vifs remerciements à **Mme LAOUFI H.** Maître assistant "A" " " à la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers à l'université de Bordj Bou Arreridj, d'abord de nous avoir donné la chance de découvrir un nouveau monde pour nous, celui de la pollution des sols, en acceptant de diriger ce travail, ainsi pour son aide, ses conseils, sa disponibilité, sa patience, ces encouragements et ces orientations.

Nous remercions en particulier **Mme CHOURGHAL N.**, maître de conférences "B" " " à la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers à l'université de Bordj Bou Arreridj, d'avoir accepter de juger ce travail.

Nous avons également à témoigner nos reconnaissance à l'ensemble des ingénieurs de laboratoire à la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers à l'université de Bordj Bou Arreridj, notamment : *Nesr eddine, Fouad, Abdelghani, Salima, Khalil et Sabrina.*

Nous remercions du fond du cœur tous ceux qui par leur savoir, leur soutien, leur confiance ou leur amitié ont contribué à la réalisation et à l'achèvement de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos familles qui nous ont aidés tout au long de la carrière académique.

Sans oublier tous nos amis et nos professeurs qui nous ont aidés de près ou de loin.



Merci à tous.

## Table des Matières

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	III
Liste des abréviations.....	IV
Introduction.....	1
<b>Chapitre I : synthèse bibliographique</b>	
1. Les zones humides .....	4
1.1 Définition des zones humides.....	4
1.2. Répartition des zones humides.....	5
1.2.1. A l'échelle mondial.....	5
1.2.2. Les zones humides en Algérie.....	5
1.3. Les principales fonctions des zones humides.....	6
1.4. Les différents types des zones humides.....	7
1.5. Définition de sebkhas et chott.....	10
2. Les sols salés.....	11
2.1. Définition des sols salés.....	11
2.2. Origine des sols salés.....	11
2.3. Caractérisation des sols sals.....	12
2.4. Localisation des sols salés.....	12
3. La pollution des sols.....	13
3.1. Formes de pollution:.....	14
3.2. Les principaux éléments qui polluent le sol:.....	14
3.2.1 Les composés organiques.....	14
3.2.2. La pollution par les anions.....	14
3.2.3. Les composés inorganiques.....	17
3.2.3.1. Eléments Traces Métalliques (ETM).....	17
3.2.3.2. Origine des métaux lourds:.....	18
3.2.3.3. Mobilité et biodisponibilité des métaux lourds.....	20
3.2.3.4. Répartition et devenir des métaux lourds dans l'environnement.....	23
1. Contamination des sols.....	23
2. Impact toxicologique.....	25
3. Particularités des métaux lourds étudiés.....	27
3.1. Le plomb.....	27
3.2. Le cuivre.....	28
3.3 le zinc.....	29
3.4. Le cadmium.....	29
3.5. Le chrome .....	29

3.6. Le fer.....	30
3.7. Le manganèse .....	30
3.8. Le nickel .....	31
3.9. Le sélénium.....	31
3.10. Arsenic .....	31
4. Origine des pollutions.....	32

## **Chapitre II : Matériel et méthodes**

1. Présentation générale de la zone d'étude (Zone humide Chott Et Frain wilaya de Sétif).....	34
1.1. Situation géographique .....	34
1.2. géologie .....	35
1.3. Climat .....	36
1.3.1. Précipitations.....	36
1.3.2. La température .....	37
1.3.3. Diagramme ombrothermique .....	38
1.3.4. Le vent .....	39
2. Méthodologies .....	41
1. Phase bureau.....	41
2. Echantillonnages sur le terrain.....	41
3. Méthodes.....	42
3.1. Préparation des échantillons.....	43
3.2 Conservation des échantillons.....	43
3.3. Analyses au laboratoire.....	43
3.3.1. L'extrait de pâte saturée.....	44
3.3.2. Le pH et la conductivité électrique (CE).....	44
3.3.3. Calcaire total .....	44
3.3.4. Gypse .....	44
3.3.5 Matière organique (MO) .....	44
3.3.6. Bilan anionique .....	44
3.3.7. Analyse des métaux lourds.....	45
4. Traitement des données.....	47
4.1. Analyse en composantes principales ACP.....	47
4.2. L'analyse factorielle des correspondances AFC.....	48

## **Chapitre III : Résultats et discussion**

1. Caractérisation physico-chimique de la région d'étude .....	49
1.1.L'humidité à saturation .....	50
1.2. pH.....	51
1.3. La conductivité électrique.....	52
1.4. Le calcaire total .....	52
1.5. Le gypse.....	54
1.6. La matière organique.....	55

1.7. Les anions.....	56
1.7.1 Le chlorure.....	57
1.7.2. Les sulfate.....	58
1.7.3. Les bicarbonates .....	59
1.7.4. Les nitrate.....	59
1.7.5. Les nitrites.....	60
1.7.6. Les orthrophosphates.....	61
1.7.7. Le borate .....	62
1.8. Profils de distribution des anions en fonction en de la profondeur.....	63
1.8.1. Profil N° 1.....	63
1.8.2. Profil N° 2.....	65
1.8.3. Profil N° 3.....	67
1.8.4. Profil N° 4.....	69
1.8.5. Profil N° 5.....	71
1.8.6. Profil N° 6.....	73
1.8.7. Profil N° 7.....	75
1.8.8. Profil N° 8.....	77
1.9. Analyse en composantes principales (ACP).....	79
1.10. L'analyse factorielle des correspondances (AFC).....	81
1.11. Les métaux lourds.....	82
1.11.1 Arsenic .....	83
1.11.2. Cadmuim.....	84
1.11.3. Chrome.....	84
1.11.4. Cuivre .....	85
1.11.5. Fer.....	86
1.11.6. Manganèse.....	86
1.11.7. Nickel .....	88
1.11.8. Plomb.....	88
1.11.9. Sélénium.....	88
1.11.10. Zinc.....	89
2. Discussion générale.....	91
Conclusion.....	96
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

## La liste des figures

N°	Figure	Page
<b>01</b>	Carte de la repartition des zones humides de la wilaya de setif	<b>6</b>
<b>02</b>	Localisation des sols sales dans la wilaya de setif	<b>13</b>
<b>03</b>	Origine des metaux lourds dans le sol	<b>19</b>
<b>04</b>	Schema illustrant la mobilite des metaux lourds	<b>21</b>
<b>05</b>	Situation geographique de chott el frain	<b>34</b>
<b>06</b>	Carte geologique de la wilaya de setif	<b>35</b>
<b>07</b>	Moyenne annuelles des precipitations	<b>37</b>
<b>08</b>	Variation mensuelle des temperatures minimales et maximales (1989-2014)	<b>38</b>
<b>09</b>	Diagramme ombrothermique de la station de setif (1989-2014)	<b>39</b>
<b>10</b>	Toposequence	<b>42</b>
<b>11</b>	Représentation graphique de l’humidité à saturation des échantillons de sol	<b>50</b>
<b>12</b>	Représentation graphique des ph des échantillons de sol	<b>51</b>
<b>13</b>	Représentation graphique des ph des échantillons de sol	<b>52</b>
<b>14</b>	Représentation graphique du calcaire total des échantillons de sol	<b>53</b>
<b>15</b>	Représentation graphique du pourcentage en gypse des échantillons de sol	<b>54</b>
<b>16</b>	Représentation graphique du pourcentage en matière organique des échantillons de sol	<b>55</b>
<b>17</b>	Représentation graphique de la concentration en chlorure des échantillons de sol	<b>57</b>
<b>18</b>	Représentation graphique de la concentration en sulfate des échantillons de sol	<b>58</b>
<b>19</b>	Représentation graphique de la concentration en bicarbonates des échantillons de sol	<b>59</b>
<b>20</b>	Représentation graphique de la concentration en nitrate des échantillons de sol	<b>60</b>
<b>21</b>	Représentation graphique de la concentration en nitrite des échantillons de sol	<b>61</b>
<b>22</b>	Représentation graphique de la concentration en orthophosphates des échantillons de sol	<b>62</b>
<b>23</b>	Représentation graphique de la concentration en borate des échantillons de sol	<b>62</b>
<b>24</b>	Les Profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil n° 01	<b>64</b>



<b>N°</b>	<b>Figure</b>	<b>Page</b>
<b>25</b>	Les Profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil n° 02	<b>66</b>
<b>26</b>	Les Profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil n° 03	<b>68</b>
<b>27</b>	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil n° 04	<b>70</b>
<b>28</b>	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil n° 05	<b>72</b>
<b>29</b>	Les Profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil n° 06	<b>74</b>
<b>30</b>	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil n° 07	<b>76</b>
<b>31</b>	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil n° 08	<b>78</b>
<b>32</b>	Représentation des variables sur le plan f1 x f2 de l'acp	<b>80</b>
<b>33</b>	Dendrogramme de la classification des différents horizons en fonction des caractéristiques du sol selon la méthode de ward.	<b>82</b>
<b>34</b>	Représentation graphique de la concentration en arsenic des échantillons de sol	<b>83</b>
<b>35</b>	Représentation Graphique De La Concentration En Cadmium Des Échantillons De Sol	<b>84</b>
<b>36</b>	Représentation graphique de la concentration en chrome des échantillons de sol	<b>84</b>
<b>37</b>	Représentation graphique de la concentration en cuivre des échantillons de sol	<b>85</b>
<b>38</b>	Représentation graphique de la concentration en fer des échantillons de sol	<b>86</b>
<b>39</b>	Représentation graphique de la concentration en manganèse des échantillons de sol	<b>87</b>
<b>40</b>	Représentation graphique de la concentration en nickel des échantillons de sol	<b>87</b>
<b>41</b>	Représentation graphique de la concentration en plomb des échantillons de sol	<b>88</b>
<b>42</b>	Représentation graphique de la concentration en sélénium des échantillons de sol	<b>89</b>
<b>43</b>	Représentation graphique de la concentration en zinc des échantillons de sol	<b>89</b>

## La liste des tableaux

N°	Tableau	Page
<b>I</b>	Teneurs naturelles de quelques éléments traces dans les sols et apports anthropiques	<b>24</b>
<b>II</b>	Principaux effets des métaux lourds	<b>27</b>
<b>III</b>	Éléments sur l'origine de quelques métaux dans des eaux et principaux effets sur les êtres vivants	<b>32</b>
<b>IV</b>	Les caractéristiques des stations météorologiques	<b>36</b>
<b>V</b>	Les variations interannuelles des précipitations de la station de sétif (1989-2012)	<b>37</b>
<b>VI</b>	Variation des températures mensuelles	<b>38</b>
<b>VII</b>	Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s) à la station sétif (2000-2010)	<b>40</b>
<b>VIII</b>	Fréquence des vents de la région de sétif (2000-2010)	<b>40</b>
<b>IX</b>	Cordonnés géographique des profils	<b>42</b>
<b>X</b>	Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de sols prélevés sur les huit profils pédologiques	<b>49</b>
<b>XI</b>	Tableau qui montre les résultats de la concentration en anions de la solution du sol	<b>56</b>
<b>XII</b>	Matrice de corrélation	<b>80</b>
<b>XIII</b>	Concentration des métaux lourds dans les échantillons de sol (ppm)	<b>82</b>

## La liste des abbreviations

**ACP** : Analyse En Composantes Principales

**AFC** : Analyse Factorielle Des Correspondance

**As** : Arsenic

**BO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Borate

**Ca CO 3**: Calcaire Total

**Cd** : Cadmium

**CE** : Conductivité Electrique

**Cl** : Chlorures

**Cr** : Chrome

**Cu** : Cuivre

**Fe** : Fer

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Bicarbonate

**ICP-MS** : inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer

**Mn** : Manganése

**MO** : Matière Organique

**Ni** : Nickel

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**: Nitrites

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Nitrates

**Pb** : Plomb

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>**: Ortho Phosphates

**PP** : Précipitation

**Se** : Sélénium

**SO<sub>4</sub>** : Sulfate

**TM** : Températures Maximales

**Tm** : Températures Minimales

**Zn** : Zinc

# Introduction

## INTRODUCTION

Les zones humides sont des écosystèmes complexes, elles sont le produit de processus écologiques, hydrologiques et climatiques auxquels s'est associée l'action des organismes vivants y compris celle de l'homme (**CUCHEROUSSET, 2006**). Ce sont des sites de transition entre les milieux terrestres et les milieux aquatiques. elles jouent un rôle fondamental dans de nombreux équilibres naturels et pour de multiples activités humaines (l'épuration des eaux, le développement de la pêche, la production du bois, la prévention des inondations, le captage des sédiments, la recharge des nappes phréatiques, etc...) (**COSTANZA et al., 1997**).

Cependant, ces espaces qui abritent une richesse biologique exceptionnelle, font partie des écosystèmes les plus menacés (**POZZI, 2011**). Ils accusent en conséquence un déclin extrêmement inquiétant, sous l'influence de pressions anthropiques divers (pompage, drainage, pâturage, pollution, la surexploitation des ressources naturelles, ect... (**GOSSELIN et PAILLET, 2010**).

Depuis plus de cinquante ans, la pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. On entend par pollution, la présence dans l'environnement des grandes quantités de produits chimiques dangereux, généralement créés par l'homme, dont les effets nuisibles peuvent se faire durant de longues périodes sur toute la planète. Cette pollution peut affecter l'eau, l'air et la terre. Elle peut être évidente (nappes d'hydrocarbures flottante sur la mer). Comme elle peut être beaucoup moins visible (pesticides répandus sur les champs ou métaux lourds dissous dans les systèmes aquatiques) (**GALVEZ-CLOUTIER, 1995**)

Le sol doit être protégé en tant que ressource naturelle car il contient des substances essentielles au maintien des écosystèmes et des populations humaines, tels les minéraux essentiels, l'eau et les éléments traces. De plus, il agit comme zone tampon lors du transport de substances polluantes entre l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Par ailleurs, le sol peut servir de réservoir pour les substances polluantes en accumulant et concentrant ces substances à des niveaux largement supérieurs aux concentrations retrouvées dans les eaux usées (**GALVEZ-CLOUTIER, 1995**).

Parmi les différentes substances polluantes pouvant se retrouver dans les sols suite à diverses activités humaines (c.-à-d. de sources anthropiques), les métaux lourds ont reçu une attention particulière en termes d'accumulation dans les sols et les sédiments, d'absorption par les plantes et de contamination des eaux souterraines. Par ailleurs, à

l'inverse des contaminants organiques, les métaux lourds ne sont pas dégradés ou éliminés par les mécanismes naturels. En outre, leur temps de résidence dans les sols (c.-à-d. leur persistance) semble nettement plus grand que dans les autres compartiments de la biosphère (hydrosphère, atmosphère) voire même permanent (**KABATA-PENDIAS ET PENDIAS, 1991**).

L'Algérie est riche en zones humides grâce à sa position géographique, sa configuration physique et la diversité de son climat (**ZAAFOUR et DJALIL, 2012**). Les types des zones humides les plus caractéristiques en Algérie sont les zones humides endoréiques. Ils se composent des chotts et des sebkhas, comme connus en arabe, aussi appelés lacs salés athalassic (**KRAIEM, 2002**).

Les chotts et les sebkhas font partie des zones humides saisonnières qui s'assèchent en été et sont réinondées en hiver. Selon (**KAABECHE et al., 1993**), une zone centrale dénommée Sebkhia où s'accumulent et se concentrent les eaux de pluies fortement chargées en sel.

La zone humide de Chott El Frain fait partie de l'éco complexe des zones humides des hauts plateaux Est Algérien (Sétif), elle est classée comme une zone humide d'importance internationale selon la convention de **RAMSAR (2004)**. Elle se caractérise par un sol salé qui est impropre à la croissance de la plupart des plantes et seules persistent les espèces susceptibles de supporter la salinité (**OZENDA, 1983**).

Cette zone est soumise à plusieurs contraintes qui menacent son équilibre écologique, elle est exposée à des problèmes de pollution vu sa proximité d'une décharge publique non contrôlée ainsi que le versement des eaux usées des villages avoisinants.

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'étude de l'état de pollution par les anions polluants (chlorures, nitrates, nitrites, orthophosphates..etc), et par les métaux lourds (Arsenic, cadmium, cuivre, chrome, Fer, manganèse, Nickel, plomb, sélénium, et Zinc) des sols salés de chott El Frain.

La présente étude est basée sur l'échantillonnage de sol sur le terrain et consiste en une analyse quantitative des principaux facteurs qui influencent sur la stabilité des sols du chott El Frain.

L'interprétation des résultats est faite par un traitement statistique (ACP, AFC) pour identifier les différentes corrélations entre les paramètres physico-chimiques et chimiques, et ainsi pour regrouper les différents horizons semblables.

Le présent travail est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique.
- Le deuxième chapitre traite la présentation des caractères généraux de la zone d'étude (géographie, géologie, climat) et la méthodologie de travail.
- Le troisième chapitre présente les résultats et leur discussion.
- Une conclusion générale est envisagée à la fin du document et reprend l'ensemble des résultats obtenus avec des perspectives.

# Chapitre I

Synthèse  
bibliographique



## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### 1. Les zones humides

#### 1.1 Définition des zones humides

En 1973, l'union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (*U.I.C.N*) (**CLEMENT et TOUFFET, 1987**), définit les zones humides comme « des milieu aquatiques aussi bien marins que côtiers ou continentaux, pour autant qu'ils soient de faible profondeur, partant de terres temporairement inondées et de tourbières tout juste imbibées, sans surface d'eau permanente, elles vont jusqu'aux lacs et aux étangs d'une profondeur n'excédant pas six (06) mètres ».

Les zones humides sont considérées au sens de la convention de **RAMSAR** (**HAMADA et al., 2004**) comme : « des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur n'excède pas six (06) mètres ».

Les zones humides représentent une ressource naturelle de première importance, tant Pour l'homme que pour la faune et la flore sauvages qui trouvent dans ces écosystèmes leurs conditions d'existence.

Depuis l'antiquité, les hommes se sont appliqués à les assécher, à la fois pour les convertir en terres arables et pour lutter contre les maladies (ex. paludisme) mais entre temps l'attitude hostile par tradition à l'égard des zones humides a commencé à évoluer vers une meilleure appréciation de leur rôle biologique et de leurs ressources potentielles.

Selon l'agence nationale de protection de la nature (*A.N.N*) (**HARRAG, 1998**), 300 zones humides (lacs, sebkha, chotts, oasis, gueltas) se répartissent à travers le Territoire algérien.

La Direction générale des Forêts (**D.G.F in ANONYME, 2004**) a classé 42 sites sur la liste de la convention de Ramsar des zones humides d'importance internationale (1982-2004) avec une superficie de près de trois (03) millions d'hectares, soit (50 %) de la superficie totale estimée des zones humides en Algérie.

L'importance écologique de ces zones, a conduit de nombreuses institutions et organisations internationales à la mise en place de programmes de conservation et de préservation, vu leur superficie importante dans le monde.

Les plus importants chotts en Algérie sont chott Echergui avec une superficie estimée à 855.500 Ha (2ème de part sa grandeur en Afrique après chott Djerid en Tunisie), chott Melhir ou (551.500 Ha) et chott El Hodna ou (362.000 Ha).

Les menaces potentielles pour ces sites sont la pollution par les eaux usées urbaines et industrielles, le surpâturage, et l'agriculture.

## 1.2.Répartition des zones humides

### 1.2.1. A l'échelle mondiale

Les zones humide Reconnues par la convention de Ramsar sont aujourd'hui au nombre de 2127 réparties dans 168 pays (**RAMSAR, 2014**). Les données mondiales restent très imprécises et les résultats divergent selon les sources. Elles couvrent plus de 6% de la planète (**SKINNER et ZALEWSKI, 1995**).

Les zones humides correspondent à une très grande variété de milieux dans de nombreuses régions du monde et peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. La grande variété de leurs biotopes est associée à une très forte biodiversité.

### 1.2.2. Les zones humides en Algérie

La position géographique et stratégique de l'Algérie, Sa configuration physique et la diversité de son climat lui confèrent d'importantes zones humides on y compte plus 254 zones humides (**ZAAFOUR et DJALIL, 2012**).

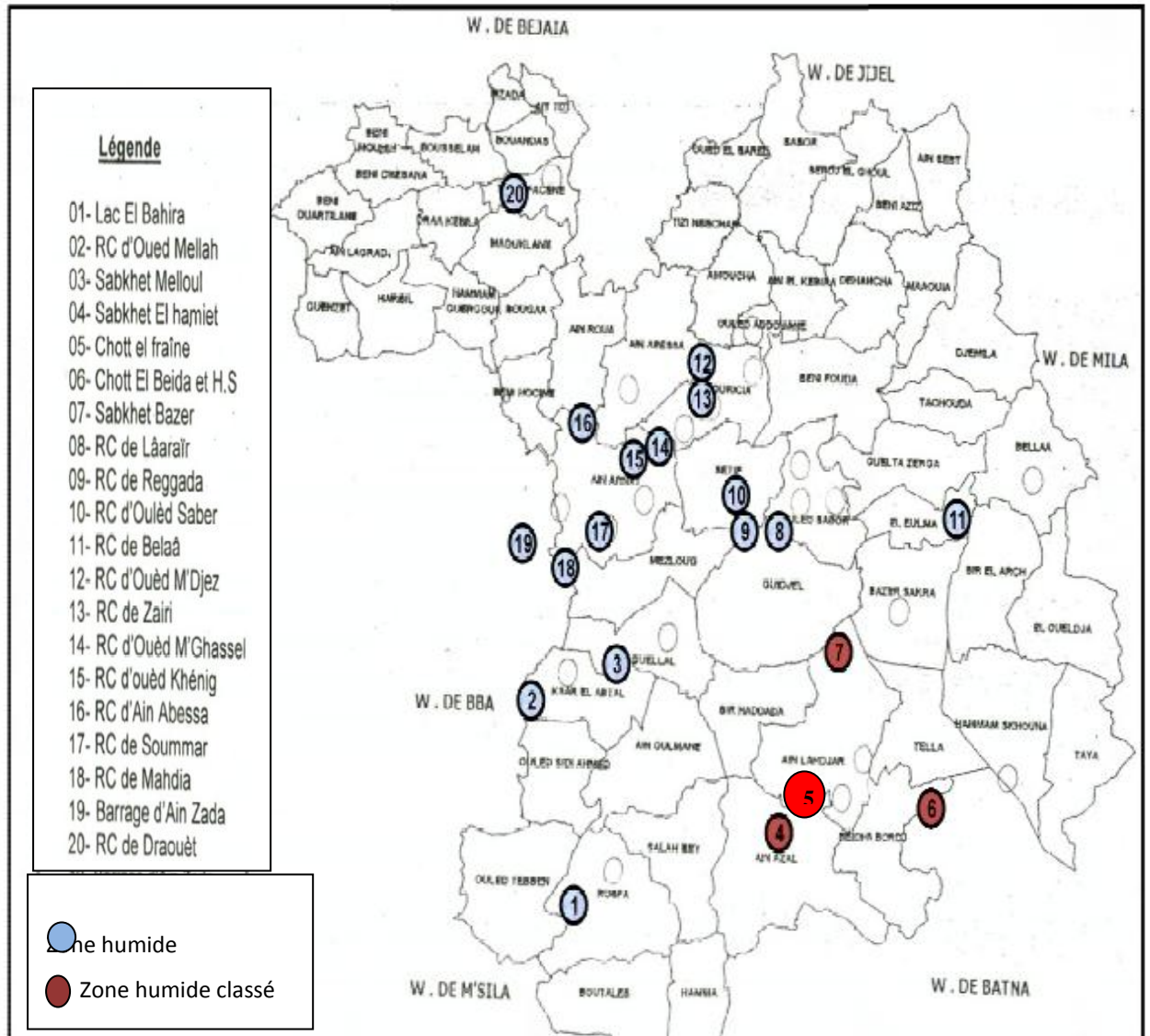
- ❖ **La frange Nord-Ouest et les hautes plaines steppiques** se caractérisent par des plans d'eau:

✚ Salé: Chott Exp : Chott El fraïn (Sétif), Chott el Hodna (M'ssila)

(figure1)

✚ non salée (la nappe phréatique n'est pas très profonde) : Dayas Exp : dayet el Ferd (Tlemcen).

- ❖ **La partie Nord-Est:** renferme de nombreux lacs d'eau douce, des marais, des ripisylves et des plaines d'inondation. Exp : Les Marais de la Macta (Mascara).
- ❖ **Le Sahara** renferme les oasis, dans le réseau hydrographique des massifs, montagneux du Tassili et du Hoggar on assiste à des sites exceptionnels alimentés par des sources d'eau permanentes appelées Gueltas. Exp : Les gueltates d'Issakarassen (Tamenrasset), l'Oasis de Ouled Said (Adrar) (**DGF, 2002**).



**Figure 01:** Carte de la repartition des zone humides de la wilaya de Sétif

### 1.3. Les Principales fonctions des zones humides

Selon la (DGF, 2004), la fonction d’une zone humide dépend de ses caractéristiques biologiques et physiques, incluant le cycle des éléments, la protection des nappes phréatique, et leur capacité à retenir les eaux des crues.

Les zones humides ont une diversité fonctionnelle telle que:

#### 1. Le cycle hydrologique

Une zone humide joue essentiellement le rôle de réserve dans le cycle hydrologique, elle est liée à d’autres réserves par une chaîne de processus de transferts. L’eau du système global n’est jamais perdue, elle est constamment recyclée. Les mécanismes hydrologiques des zones humides appartenant à un hydro système plus large. Ne peuvent être compris qu’en relation avec leur bassin versant.

## **2. Recharge et protection des nappes phréatiques**

Les zones humides peuvent jouer un rôle important de réapprovisionnement ou de recharge des nappes phréatiques. Cette recharge se produit quand l'eau s'infiltré à travers les couches supérieures du sol vers la nappe aquifère contenue dans les strates inférieures perméables de sol ou de roche.

## **3. Résurgence des nappes phréatique**

La résurgence des nappes phréatiques se produit quand l'eau, stockée sous terre, réapparaît en surface dans une zone humide. Ce phénomène s'observe principalement sur les terrains de dépressions.

## **4. Le contrôle des crues**

Les zones humides réduisent les inondations de plusieurs façons. Elles stockent au moins temporairement, les eaux de la crue potentielle, puis les restituent lentement. Lorsqu'elles sont situées en amont, elles écrêtent les crues empêchant les eaux venant de plusieurs affluents d'atteindre simultanément la rivière principale.

## **5. Rétenion des sédiments et des produits toxique**

La sédimentation, en stabilisant les zones humides, joue un rôle important dans leur pérennité et contrebalance l'érosion des rivages. La végétation des zones humides réduit la vitesse du courant permettant ainsi aux sédiments de se déposer, les substances toxiques absorbées sur les sédiments s'accumulent sur le substrat et certaines de ces substances sont assimilées par les plantes.

## **6. Rétenion des nutriments et recyclage**

L'une des fonctions des zones humides réside dans leur capacité à extraire les nutriments de l'eau qui les irrigue. Ces nutriments, qui proviennent des effluents d'eaux usées ou de l'utilisation d'engrais sur les terres agricoles, posent de plus en plus de problèmes.

Ils provoquent l'eutrophisation des eaux intérieures et côtières et contaminent les nappes phréatiques. Quand l'eau traverse les zones humides et en particulier quand elle interagit avec leurs sols oxygénés, les nitrates et les phosphates sont fixés par les plantes et partiellement recyclés par les bactéries.

## **1.4. Les différents types des zones humides**

Les zones humides regroupent une grande variété d'habitats naturels : deltas des fleuves, lacs et marais (eau douce, saumâtre ou salée), rivières permanentes ou oueds,

forêts inondables des bordures de fleuves, ou bien salines et lacs de barrage(DUGAN, 1993).

\* *Les deltas*

C'est à l'embouchure des principaux fleuves que l'on trouve le plus fréquemment des zones humides côtières. Un delta naturel typique regroupe donc toute une gamme de zones humides dont la salinité augmente généralement au fur et à mesure que l'on s'approche de la mer. L'absence de marées en Méditerranée est particulièrement propice à la formation de deltas mais les grands cours d'eau permanents sont peu nombreux et essentiellement alimentés par de l'eau provenant de l'extérieur de la région (comme le Rhône, ou le Nil)(DUGAN, 1993).

\* *Les mares temporaires*

La mare est généralement une étendue d'eau de faible extension, pérenne ou non, de petite taille (habituellement < 10ha) et peu profonde caractérisées par des alternances de phases sèches et inondées et par fonctionnement hydrique très autonome (GRILL et al ., 2004) ; Son alimentation provient du ruissellement ou de la remontée du plafond de la nappe phréatique, l'eau y est généralement stagnante, ou sa circulation est très lente (Dugan, 1993).

\* *Les lagunes côtières*

Les sédiments charriés par un cours d'eau se déposent normalement à quelques centaines de mètres au large, lorsque les courants marins ont réduit la vitesse d'écoulement du fleuve. Les courants modèlent ensuite les dépôts de sable en créant souvent des cordons littoraux parallèles à la côte, derrière lesquels se forment les lagunes. Celles-ci sont généralement reliées à la mer par un chenal et peuvent également être alimentée par les cours d'eau. (BARNAUD, 2000)

\* *Les lacs d'eau douce*

Ils se forment soit à l'intérieur des terres, soit par adoucissement d'une lagune marine isolée de la mer et alimentée par des cours d'eau (comme dans le delta du Nil, et du Rhône). En Afrique du Nord, hormis les lagunes marines et deltaïques, on ne trouve que peu de lacs permanents, les eaux libres disparaissant rapidement du fait de l'importance de l'évaporation (BARNAUD, 2000)

\* *Les marais d'eau douce*

Des centaines de marais d'eau douce qui bordaient autrefois la Méditerranée,

très peu subsistent aujourd'hui et leur régime d'inondation est presque toujours contrôlé par l'homme, du moins en partie. Ils englobent divers types de milieux, allant des roselières qui entourent les lacs aux prairies humides pâturées dans les deltas ou en bordure du lit majeur des fleuves (DUGAN, 1993).

\* *Les zones humides intertidales*

Du fait de l'absence de marées dans la majeure partie de la mer Méditerranée, il y a très peu de grandes vasières entre la limite des hautes et basses eaux à l'exception de la partie du golfe de Gabès, située entre la côte du sud tunisien et les îles Knies.

(DUGAN,1993)

\* *Les oasis*

Au Sahara et dans une bonne partie du Levant, les eaux souterraines sont Abondantes et proviennent d'infiltration au cours des ères plus humides dans L'histoire géologique de la région. L'une des oasis les plus importantes, pour la faune et la flore en Algérie est celle de Tamentit et d'Ouled Saïd. (BARNAUD, 2000)

\* *Les lacs de barrages*

Ils constituent un type de zones humides de plus en plus déterminant dans le Bassin méditerranéen. Les réservoirs, construits en montagne, peuvent remplacer, dans une certaine mesure, les zones humides des plaines en aval.

Malheureusement, la plupart des réservoirs sont construits dans des zones Très pentues ce qui limite beaucoup les possibilités de développement de marais peu profonds en périphérie et pour beaucoup d'entre eux, le niveau d'eau peut baisser de manière très importante et irrégulière, réduisant d'autant plus les chances de croissance de la végétation sur les rives.(BARNAUD, 2000)

\* *Les salins*

Les salins, lorsqu'ils sont exploités, constituent des zones humides à forte Composante artificielle mais néanmoins de très grande valeur. Les salins constituent un milieu de plus en plus important pour les oiseaux et, après leur fermeture, ils doivent être gérés au profit de la faune sauvage. Dans les bassins de faible salinité certaines espèces de végétaux et de poissons tolérant le sel prospèrent; en revanche, dans les bassins les plus salés, seules les artémias survivent. Les cycles saisonniers réguliers des salins permettent de garantir la disponibilité des ressources alimentaires et, par conséquent, d'accueillir une avifaune abondante. (BARNAUD, 2000)

\* *Les lacs salés continentaux (sebkhas et chott)*

Les lacs salés (« chott, sebkhas») comptent parmi les plus grandes zones Humides du Bassin méditerranéen. Les plus importants se trouvent en Afrique du Nord où l'effet conjugué de pluies torrentielles subites et d'un ruissellement rapide dans des paysages quasi désertiques entraîne parfois la formation de vastes étendues d'eau dans des dépressions continentales. (DUGAN, 1993)

Dans les chotts, La végétation permanente est éparse avec des îlots de verdure chaque fois que l'eau est présente. (BARNAUD, 2000)

Les sebkhas sont des dépressions peu profondes renfermant de l'eau pendant de plus longues périodes et ne s'asséchant généralement qu'au plus fort de l'été.

Celles qui possèdent une végétation sont habituellement beaucoup plus petites que les autres, car elles concentrent et retiennent mieux l'eau et sont moins salées. (BARNAUD, 2000)

### 1.5. Définition de sebkhas et chott

Plusieurs définitions ont été données par différents auteurs aux sebkhas et aux chotts et d'après (BOULAINÉ, 1953), le terme sebkha, désigne, dans la toponomie locale algérienne des bas fonds non cultivables, dépourvus de végétation, dont le sol salé est recouvert d'une lame d'eau durant une partie de l'hiver et le terme chott désigne la bordure de la sebkha.

Selon (FLAMAD in LOZET et MATHIEU, 1990) « la sebkha, est une dépression fermée submergée d'eau salée en hiver, desséchée et couverte d'efflorescence saline en été. Elle ne reçoit pas de cours d'eau important. La salure provient soit de l'évaporation des eaux qui sont plus ou moins chargées de sels, par ruissellement sur des affleurements salifères, soit de la présence des terrains salés dans la dépression elle-même où les eaux se salent avant de disparaître soit encore d'infiltration souterraines d'origine marine ou autre ».

Selon (KAABECHE et al., 1993), ces termes désignent une structure géomorphologique à deux niveaux en sel, une zone centrale dénommée Sebkha où s'accumulent et se concentrent les eaux de pluies fortement chargées en sel. Cette zone correspond au moment des périodes humides au niveau d'affleurement de la nappe phréatique et où se dépose en été le sel sous forme de minces couches blanchâtres. Le sol de cette zone est ainsi dépourvu de végétation et une zone dénommée chott constituant la bordure de la cuvette et où se développe en couronne une végétation halophile.

## 2. Les sols salés

Les sols salés couvrent dans le monde et en particulier en zones arides et semi-arides de grandes surfaces, c'est ainsi que de l'Est à l'Ouest et de la cote au Sahara, les sols agricoles d'Algérie sont dans leur grande majorité affectés par le sel (**HALITIM, 1973**).

Les sols salés occupent environ 24% de la superficie globale du monde (**BOLYN, 1974**) ; selon (**MALCOM in FAO, 1992**), 7% de la superficie mondiale des terres (920 millions d'hectares) étaient plus ou moins salins, 3% (400 millions d'hectares) présentant un caractère salin ou sodique dominant.

### 2.1. Définition des sols salés

Les sols salés appelés aussi sols salsodiques ou sols halomorphes, sont caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profil ou par la dégradation de la structure de l'un de leur horizon ou de tout leur ensemble, sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels en particulier le sodium (**AUBERT, 1983**).

Selon **LOYER (1990)**, les sols salsodiques sont définis par la présence de deux (02) Horizons de référence, essentiellement :

- Soit par la présence sur le complexe échangeable du sol d'une quantité de sodium relativement importante par rapport aux autres cations (horizon sodique).
- Soit par la présence d'une certaine quantité de sels solubles dans la solution du sol (horizon salique).

L'ion sodium peut intervenir dans la pédogenèse, soit sous forme saline (salinisation) Ou sous forme échangeable (sodisation), soit sous les deux formes simultanément.

La sodisation s'accompagne fréquemment d'une alcalinisation du profil (**DUCHAUFFOUR, 1997**).

### 2.2. Origine des sols salés

Selon **HULIN (1983)**, l'origine première des sols salés est d'ordre naturelle : c'est-à-dire issue d'une interaction entre les facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrologiques dans un paysage donné.

L'origine des sels solubles dans le sol est très variée mais habituellement les deux (02) grandes sources de salinité pouvant être considérées sont la salinité d'origine géologique en milieu continental et la salinité d'origine marine en milieu littoral (c'est



la salinisation primaire) Selon **GUET(2003)**, une troisième source non moins importante et indirecte, l'eau d'irrigation, peut également provoquer la salinité (c'est la salinisation secondaire)

### **2.3. Caractérisation des sols sals**

On parlera en général de sol salé lorsque la concentration en sels des solutions dépasse 0.5 g/ l cette concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique (CE) de la solution du sol saturée exprimée en mmhos/cm ou actuellement en décisiemens par mètre (dS/m) (**ROBERT, 1989**). Selon (**CALVET, 2003**) un sol est dit salé quand la conductivité électrique, est supérieure à 4 dS/m. Cependant la salinité d'un sol s'apprécie plus par le comportement des plantes de sorte que cette limite peut être très différente selon la sensibilité des espèces végétales. Les sols salés se reconnaissent par une végétation spécifique (les halophytes), par les efflorescences en croûtes salines, en taches blanches (chlorures et sulfates), grises blanches (magnésium) et noires (carbonates et bicarbonate) et par la structure du sol qui est en général dégradée (**DJABRI, 1980**).

### **2.4. Localisation des sols salés**

#### **→ en Afrique du Nord**

Les sols salés ont une grande extension, du fait de la présence d'affleurements salifères ou dépôts géologiques salifères et les conditions arides et semi-arides où les possibilités d'évaporation sont considérables, leur importance selon (**SIMONNEAU, 1960**) est relativement réduite au Sahara mais beaucoup plus grande dans les hautes plaines steppiques algériennes.

#### **→ Les sols salés en Algérie**

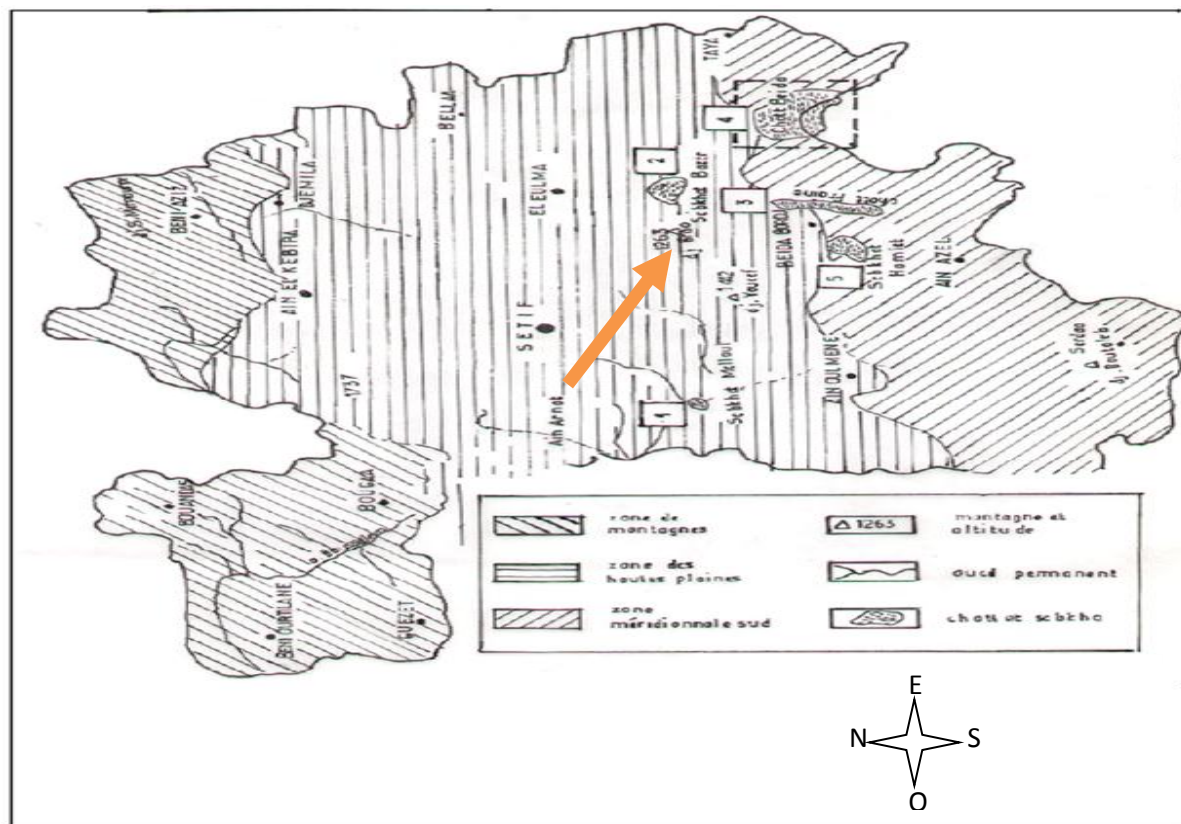
Selon **HOUEROU( 1993)** les sols salés occupent de vastes superficies (3,2 Millions d'hectares de la superficie totale). Ils sont localisés tant au Nord qu'au Sud (figure 2).

- au Nord-Est, principalement la région comprise entre les wilayates de M'sila, Sétif, Batna, Oum El.Bouaghi, Annaba et Taref
- au Nord –Ouest : la vallée de la Tafna, les basses plaines d'Oranie.
- dans les hautes plaines et les régions sahariennes, ils se localisent dans les bassins des chotts et au niveau des Oasis.

#### **→ Les sols salés dans la région de Sétif**

Les sols salés occupent une superficie estimée à 12 400 hectares (**MACHANE,1990**),

Ils se localisent essentiellement dans la zone Sud (Figure 2), généralement autour des sebkhas et chotts (Hammam Sokhna, Bazer Sakra, Guellal, Ain Lahdjar, Ain Azel).



**Figure 02 :** Localisation des sols salés dans la wilaya de Sétif

### 3. La pollution des sols

La pollution résulte de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération (GAUJOUS, 1995).

Le sol est une ressource essentielle pour les sociétés humaines et les écosystèmes.

Etant soumis à des pressions de plus en plus importantes (productions agricoles et forestières, développements urbains et industriels, réseaux de transport, activités de loisirs...) et n'étant pas une ressource renouvelable à l'échelle de temps humaine, il est nécessaire d'en assurer la protection afin de permettre un développement durable des sociétés (CITEAU, 2008).

La pollution représente un sérieux problème pour l'environnement à cause des rejets de nombreux produits chimiques dont des éléments métalliques rejetés par les industries, l'agriculture et les communautés urbaines.

La pollution des sols par les métaux lourds est l'un des problèmes actuels dont la gravité augmente avec le développement industriel.

Contrairement aux polluants organiques susceptibles de se dégrader, les éléments traces métalliques peuvent être nocifs pour tous les écosystèmes à cause de leurs stabilités et de leurs persistances dans la nature.

### 3.1. Formes de pollution

On distingue deux types de pollution des sols (CREMILLE *et al.*, 2002)

- La pollution localisée : Elle se distingue par la présence ponctuelle dans les sols des substances dangereuses: déversements, fuites ou dépôt de déchets.
- La pollution diffuse : Elle implique des polluants à faible concentration sur de grandes surfaces, ils proviennent généralement d'épandages de produits tel que les engrais ou pesticides ou les retombées atmosphériques.

Pour chacun de ces types, on distingue deux origines de pollution:

7. La pollution accidentelle: Déversement ponctuel et momentané de substances polluantes.
8. La pollution chronique: survenant sur de longues durées, telles que les fuites sur des conduites enterrées, les lixiviats issus de dépôts de déchets.

### 3.2. Les principaux éléments polluants le sol

#### 3.2.1 Les composés organiques

Ces composés sont issus de pratique récente liée à l'ère industrielle, et sont:

- ✓ les hydrocarbures ou huiles minérales,
- ✓ les produits organiques industriels tels que le trichloréthylène,
- ✓ les pesticides: les phénomènes de ruissellement et d'infiltration de ces substances Participent ainsi à la pollution des cours d'eau, eaux souterraines et zones littorales,
- ✓ les substances militaires

#### 3.2.2. La pollution par les anions

##### 1. Nitrate

Naturellement, les eaux superficielles et les sols renferment de l'azote. Celui-ci provient de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales (par exemple les légumineuses), par des cyanobactéries et des bactéries. Une fois incorporé par les organismes,

L'azote organique est présent dans la matière organique. Lors de la décomposition de cette matière organique azotée, les bactéries présentes dans les eaux et les sols peuvent le transformer en nitrates. Ces derniers peuvent suivre différentes voies. Ces nitrates peuvent alors être assimilés par d'autres organismes (plantes, microorganismes) qui les utilisent pour leurs développements. Les nitrates étant très solubles dans l'eau, une fraction est systématiquement exportée vers les écosystèmes aquatiques localisés en aval et vers les nappes en profondeur. Les concentrations en nitrates des eaux souterraines et superficielles sont généralement inférieures à 1 mg/l dans les systèmes exempts d'activité humaine et la concentration naturelle en  $\text{NO}_3^-$  des cours d'eau est inférieure à 0,2 mg/l (MEYBECK, 1982 et 1989). La principale source de contamination des sols et des eaux par les nitrates est l'apport d'engrais azotés sur les cultures. Ces apports peuvent être effectués en utilisant divers types d'engrais azotés qui peuvent fournir de l'azote soit sous forme de nitrates (assimilable par la plante mais également beaucoup plus lessivable), soit sous formes d'urée, d'ammonium ou de lisier, qui seront progressivement transformées en nitrates. Les systèmes de traitements des eaux usées déficients, tout comme la décomposition de matières organiques animales ou végétales issues produites par l'activité humaine, peuvent être une source de contamination par les nitrates (RAOUL, 2003).

## 2. Chlorure

Le chlore appartient à la famille des halogènes. C'est un élément très électronégatif et très réactif, qui intervient comme matière première dans plus de 50 % des processus de production de l'industrie chimique et plus de 85 % de ceux de l'industrie pharmaceutique. Il est présent naturellement sous forme de sel (BANAS et LATA, 2007).

### - Chlore dans le sol

Le chlore stable présent dans les sols provient essentiellement des mers et des dépôts continentaux de roches salines. Cette source fournit des sels de type chlorures (Na, K, Ca, Mg) qui sont très solubles et qui ont donc une grande mobilité. Dans les sols, les concentrations en chlore d'origine marine varient de 8 à 1800  $\mu\text{g/g}$  de sol sec en fonction de l'éloignement de la mer.

### - Toxicité par le chlorure

Le chlorure est un sel principal responsable de la formation des sols salés.

Il a une solubilité très élevée et une forte toxicité pour les végétaux.

Parmi ces sels nous avons :

- ✓ Chlorure de sodium (Na Cl), c'est le sel le plus répandu, très soluble et hautement toxique à des concentrations supérieures à 250 mg/l.
- ✓ Chlorure de potassium (KCl) : C'est un sel voisin du NaCl, mais répandu peu dans la nature.
- ✓ Chlorure de calcium (Ca Cl<sub>2</sub>) : C'est un sel relativement rare dans le sol, car il réagit avec Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pour former du CaSO<sub>4</sub> ou CaCO<sub>3</sub> (sel peu solubles)
- ✓ Chlorure de manganèse (MgCl<sub>2</sub>) : C'est un sel relativement rare, sauf dans le cas de forte salinité sa solubilité est de l'ordre 350g/l qui fait de lui un sel de toxicité extrêmement élevée (BANAS et LATA, 2007).

### 3. Phosphate

Dans la nature, le phosphore (P) est généralement présent sous forme de molécules de phosphates. Parmi les phosphates présents dans l'eau, on distingue couramment :

- les orthophosphates (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), qui sont des sels minéraux de l'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Cette forme, parfois notée o-P, est également appelée lors de la mesure des concentrations dans les eaux « phosphore réactif » (BANAS et LATA, 2007).

#### - Phosphate dans le sol

Les phosphates sont moins aisément lessivables que les nitrates. Ils s'adsorbent aisément aux particules de sol, de sédiment et aux particules en suspension pour former des complexes organiques ou minéraux. Par conséquent lors de l'infiltration de l'eau dans les sols, une fraction des phosphates initialement dissous dans l'eau sera retenue par les particules de sol.

Une partie est généralement entraînée et contamine les eaux superficielles et les nappes phréatiques (BANAS et LATA, 2007).

### - Toxicité

Les phosphates ont beaucoup d'effets sur les organismes. Ces effets sont principalement les conséquences des émissions de grandes quantités de phosphates dans l'environnement par l'exploitation minière et la culture des champs.

### - Effets connus sur l'environnement

Le phosphore est considéré comme un polluant lorsqu'il est présent à de fortes concentrations dans l'environnement. Les rejets de phosphore dans les écosystèmes aquatiques constituent l'un des plus sérieux problèmes environnementaux car ils contribuent à accélérer l'eutrophisation de ces milieux.

### - Effets connus sur la santé humaine

Si les composés phosphorés utilisés à hautes concentrations dans l'industrie (phosphore blanc qui est par exemple un constituant de la mort-aux-rats, P rouge, P noir, etc.) peuvent avoir des effets très toxiques sur l'homme, tels que de l'ostéoporose ou des problèmes aux reins.

### 3.2.3. Les composés inorganiques

Cette famille est principalement composée par les métaux lourds, également appelés « Éléments traces ». Tous ces composés se retrouvent à l'état naturel dans l'environnement. Leur dangerosité s'exprime dans une inhalation ou ingestion directe des poussières.

#### 3.2.3.1.Éléments Traces Métalliques (ETM)

La notion « Éléments Traces Métalliques » (ETM) est mal définie, néanmoins, celle-ci se substitue peu à peu à celle de « métaux lourds » (MIQUEL,2001) Les éléments traces regroupent 80 éléments chimiques constituant de la croûte terrestre, dont les ETM, représentent 0,6 % du total, alors que les 12 éléments majeurs (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P et Mn) interviennent pour 99,4 % (BAIZE,1997). Ce terme générique « Éléments Traces Métalliques » désigne des métaux réputés toxiques et dont la teneur moyenne dans les sols est inférieure à 1 g/kg. De même, les métalloïdes tels que l'As ou l'Sb sont présents en traces dans la croûte terrestre et considérés comme toxiques. Leurs propriétés physiques et chimiques sont intermédiaires entre celles d'un métal et d'un non métal, ils sont définis comme des semi-métalliques.

D'un point de vue purement chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à  $5 \text{ g/cm}^3$  (ADRIANO, 2001)

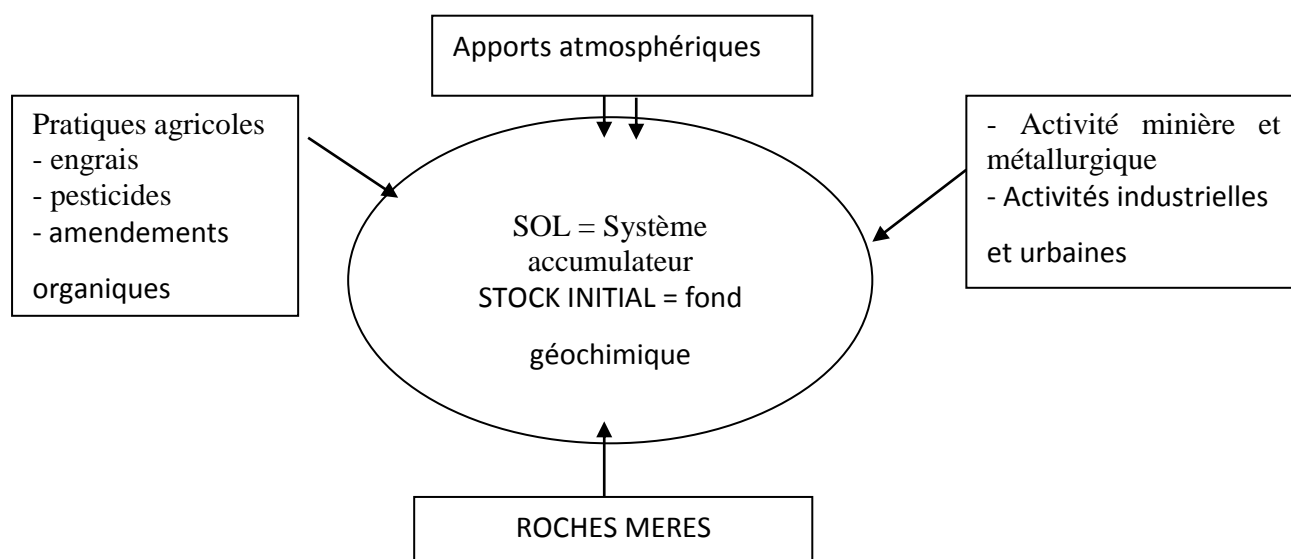
D'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques.

(i) Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (LOUE, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe). Par exemple, le zinc (Zn), à la concentration du milli-molaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides (PENDIAS, 2001).

(ii) Les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd). Le terme métaux lourds, « heavy metal », implique aussi une notion de toxicité. Le terme « éléments traces métalliques » est aussi utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans l'environnement (BAKER et WALKER, 1990). Dans ce contexte, nous utiliserons le terme « métaux lourds » dans le sens de l'impact toxique sur les humains et les environnements.

### 3.2.3.2. Origine des métaux lourds

Le problème principal avec les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure est qu'ils ne peuvent pas être biodégradés, et donc persistent pendant de longues périodes dans des sols. Leur présence dans les sols peut être naturelle ou anthropogénique.



**Figure 3:** Origine des métaux lourds dans le sol (**ROBERT et JUSTE, 1999**)

(a) Origine naturelle

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (**BOURRELIER et BERTHELIN, 1998**). La concentration naturelle de ces métaux lourds dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge (figure 3)

(b) Origine anthropique

Cependant, la source majeure de contamination est d'origine anthropique. Au cours des décennies dernières, l'apport de métaux lourds au sol dans le monde s'est étendu ; à l'heure actuelle on l'estime à 22000 tonnes de cadmium, 939000 t de cuivre, 783000 t de plomb, et 1350000 t de zinc (**SINGH et al., 2003**). Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation des flux de métaux, sont la pollution atmosphérique (rejets urbains et industriels), la pollution liée aux activités agricoles et la pollution industrielle (tableau I)

- La pollution atmosphérique résulte des activités industrielles (rejets d'usine) et urbaines (gaz d'échappement, etc....). Il faut distinguer les apports diffus aériens d'origine lointaine des apports massifs localisés d'origine proche. Dans les apports diffus sont classés les poussières et aérosols provenant des chauffages ainsi que des moteurs d'automobiles. Les apports massifs localisés résultent d'apports anthropiques accidentels liés aux activités industrielles sans protection efficace contre la dispersion dans l'environnement (**BAIZE, 1997**).



- Certaines pratiques agricoles sont à l'origine de l'introduction de métaux lourds dans le sol. Les produits destinés à améliorer les propriétés physico-chimiques du sol sont souvent plus riches en métaux lourds que le sol lui-même par exemple les engrais, les composts et les boues de station d'épuration (**ROBERT et JUSTE, 1999**).

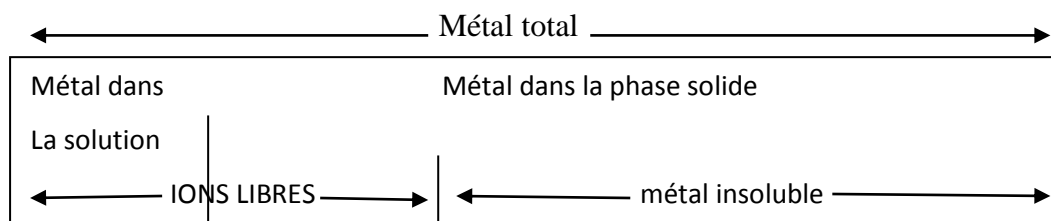
- La pollution industrielle provenant des usines de production de l'activité humaine tels que les matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires), les produits chimiques divers (industries chimiques), les matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) et la métallurgie (**GODIN et al., 1985**). Les déchets miniers et les terrils industriels sont une source particulièrement importante de pollution par le zinc, le plomb et le cadmium.

Le rôle des pratiques industrielles et agricoles dans la contamination des sols doit être pris en compte : cela concerne une grande partie du territoire. Leur accumulation et leur transfert constituent donc un risque pour la santé humaine via la contamination de la chaîne alimentaire, mais aussi pour le milieu naturel dans son ensemble (**BOURRELIER et BERTHELIN, 1998**).

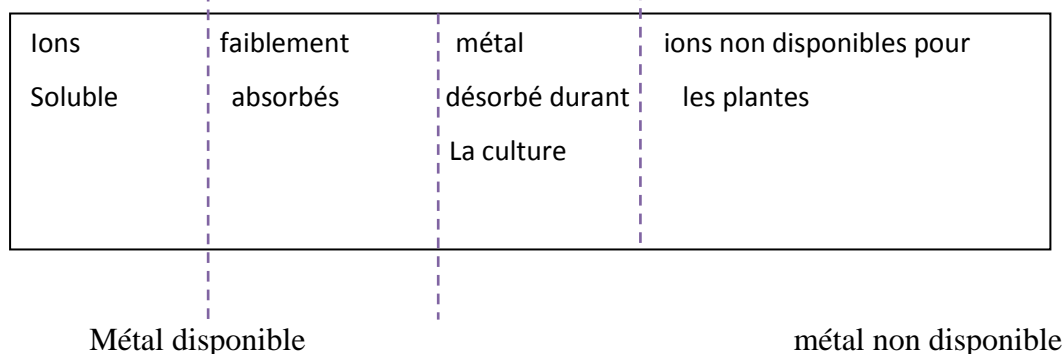
### **3.2.3.3. Mobilité et biodisponibilité des métaux lourds**

La toxicité d'un métal dépend de sa spéciation (forme chimique) autant que des facteurs environnementaux (**BABICH, 1980**). Dans le sol, les métaux lourds peuvent exister sous forme d'ion libre ou sous forme liée à des particules de sol. Cependant, un métal n'est toxique pour les organismes vivants que s'il est sous forme libre ; il est alors biodisponible. Comme tout élément chargé positivement, les cations métalliques peuvent interagir dans le sol avec toute particule organique ou minérale chargée négativement. De l'équilibre entre les formes libres et fixées de l'ion va dépendre sa biodisponibilité, directement liée à sa toxicité. Enfin, la biodisponibilité des métaux lourds varie en fonction de plusieurs facteurs du sol (figure4)

(a) Statut du métal.



(b) Mobilité du métal



**Figure 4:** Schéma illustrant la mobilité des métaux lourds (SHALLARI, 1997)

### 3.2.3.3.1. La teneur en argile

Les argiles, de par leurs propriétés physico-chimiques, jouent un rôle très important dans la disponibilité des métaux lourds (LI, 2000) a montré que les métaux lourds peuvent être absorbés et immobilisés par les minéraux argileux ou également être complexés par la matière organique du sol en formant alors un complexe organométallique (LAMY, 2002). En effet, la charge électronégative des argiles les rend aptes à contracter des liaisons électrostatiques avec toute entité chargée positivement, comme les cations métalliques. Ces liaisons sont réversibles et les cations fixés sont échangeables : ils peuvent être remplacés par d'autres cations présents dans la phase aqueuse du sol. Cette capacité d'échange de cations (CEC) exprimée en milliéquivalents pour 100 g est une caractéristique importante de chaque argile qui conditionne grandement la biodisponibilité d'un métal dans le sol.

### 3.2.3.3.2. Le pH

Le pH est un autre facteur important influençant la solubilité et la spéciation du métal et donc sa toxicité (BABICH et STOTZKY, 1977). Quand le pH diminue d'une unité, la concentration des cations métalliques libres augmente d'environ un facteur 2 dans la solution de sol et par conséquent améliore la phytoextraction

(SANDERS *et al.*, 1986). Les organismes et les microorganismes eux-mêmes peuvent influencer la disponibilité des métaux lourds dans leur environnement proche par acidification locale lors d'une réaction métabolique ou par la production de composés complexant les métaux lourds (GILLER *et al.*, 1998).

### 3.2.3.3.3. Le potentiel redox (Eh)

Le potentiel redox (Eh) permet de caractériser les échanges d'électrons entre les espèces chimiques. Ainsi, les faibles valeurs d'Eh favorisent la dissolution des hydroxydes et entraînent une augmentation de la concentration des métaux associés avec des composants (CHAIGNON, 2001). De plus, la modification du degré d'oxydation des ligands ou des éléments se liant avec le métal influence indirectement la solubilité des métaux lourds. Par exemple, en conditions réductrices, les sulfates sont réduits en sulfure qui piègent volontiers les éléments métalliques tels que Pb, Cd, Zn (DENEUX-MUSTIN *et al.*, 2003).

Bien que l'influence des conditions oxydoréductrices du sol semble très importante au regard de la mobilité des éléments métalliques, il n'en demeure pas moins que ce facteur apparaît souvent comme secondaire par rapport au pH. En effet, pour un sol donné l'Eh varie en fonction inverse du pH, il augmente quand le pH diminue (Deneux-Mustin *et al.*, 2003).

### 3.2.3.3.4. L'activité biologique

La compréhension globale des phénomènes biologiques jouant sur la solubilité des métaux lourds dans les sols est rendue difficile par la multiplicité des actions et interactions à tous les niveaux. Nous nous attacherons à développer principalement l'action des microorganismes et des végétaux supérieurs.

Parmi les microorganismes on retrouve de nombreuses populations bactériennes et fongiques dont les activités métaboliques influencent la mobilité des métaux lourds. Cependant, beaucoup de ces phénomènes sont également communs aux plantes. Les principaux modes d'action sur la mobilité des polluants métalliques sont la solubilisation, l'insolubilisation et la volatilisation (CHAIGNON, 2001).

### 3.2.3.4. Répartition et devenir des métaux lourds dans l'environnement

#### 1. Contamination des sols

Tous les sols contiennent naturellement des éléments traces métalliques.

On parle de contamination d'un sol lorsque sa teneur en élément trace est supérieure à la concentration naturelle, mais sans influence sur la qualité du sol.

La concentration naturelle de l'élément trace dans le sol résulte de son évolution à partir de la roche initiale. On parle de pollution des sols par un élément trace lorsque l'élément trace est présent à une dose constituant une menace pour l'activité biologique ou les fonctions du sol (MARCOS, 2001). Les contaminations diffuses, qui affectent les niveaux superficiels des sols, résultent de phénomènes naturels tels que les retombées atmosphériques d'aérosols d'origine volcanique, ou d'actions anthropiques intentionnelles ou non : poussières et dépôts atmosphériques, fertilisants minéraux (cuivre contenu dans les phosphates), pesticides, lisiers et fumiers, boues de stations d'épuration, activités minières, déchets industriels (bâtiments) ou urbains, Transports, etc.

#### 1.1 Le processus de transfert

Les précipitations et l'irrigation sont les principales sources d'eau des sols. Une partie est évacuée par évaporation ou ruissellement de surface. Une partie pénètre dans le sol et se dirige alors soit vers les racines des plantes, soit, par gravité, vers les horizons profonds et les nappes phréatiques. Au cours de ces transports, l'eau se charge en éléments en traces dissous (MARCOS, 2001).

#### 1.2 Répartition des métaux lourds dans les sols

L'étude de la répartition d'un élément trace métallique entre les composants solides s'appelle la spéciation appréhendée par une technique qui porte le nom « d'extraction Séquentielle ».

La variable déterminante de cette répartition est le degré de solubilité du métal.

- ❖ si le métal est soluble, il va passer dans les nappes ou dans la plante.
- ❖ s'il est insoluble, il va rester dans le sol.

La solubilité va dépendre de plusieurs facteurs, le plus important est l'acidité du sol.

- ❖ Un sol acide facilite la mobilisation. Les métaux lourds ne s'accumulent pas. Ils sont transférés vers les nappes phréatiques et les fleuves ou absorbés par les plantes et présentent alors un risque pour la santé.

- ❖ Un sol calcaire contribue à l'immobilisation de certains métaux (certains éléments réagissent différemment, notamment l'arsenic, plus mobile dans un sol calcaire).

Il n'y a donc pas de risque immédiat pour la santé. Mais le sol est contaminé durablement et la concentration en métaux lourds augmente avec les années. Ces derniers sont susceptibles d'être relargués quand l'environnement est modifié. Au niveau des sols, les risques sont divers (transfert vers les nappes phréatiques, biodisponibilité, écotoxicité), et dépendent principalement de la spéciation (degré d'oxydation, mode de complexation avec les macromolécules organiques et les constituants minéraux du sol) (CITEAU, 2004).

**Tableau I** : Teneurs naturelles de quelques éléments traces dans les sols et apports anthropiques (En mg/kg) (BAIZE, 1997)

	Teneurs naturelles en éléments traces dans les sols		Apports anthropiques
	Concentration moyenne dans la croûte terrestre	Valeurs extrêmes relevées dans les roches	Nature des apports anthropiques
Cadmium (Cd)	0.2	46	2 - 4 - 5
Cobalt (Co)	23	100 - 200	3 - 2
Chrome (Cr)	100 - 200	1 500 - 3 000	1 - 2
Cuivre (Cu)	45 - 70	80 - 150	3 - 4 - 5
Nickel (Ni)	80	2 000	3
Plomb (Pb)	13 - 16	30	1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6
Zinc (Zn)	70 - 132	120	3 - 4 - 5 - 6

Nature des apports anthropiques :

- 1 : retombées atmosphériques
- 2 : épandages boues de station d'épuration
- 3 : activités industrielles
- 4 : activités urbaines et trafic routier
- 5 : activités agricoles
- 6 : activités minières

## **2. Impact toxicologique**

### **2.1 Exposition**

Les hommes sont exposés par inhalation des polluants aériens, la consommation d'eau Contaminée, l'exposition à des sols contaminés de déchets industriels.

Les métaux peuvent être absorbés sous la forme inorganique ou sous la forme organique.

Pour certains éléments, comme l'arsenic et le cuivre, la forme inorganique est la plus toxique.

Pour d'autres, comme Hg, Sn et Pb, les formes organiques sont les plus toxiques. La quantité de métaux absorbée par un homme influe directement sur sa santé. Elle peut présenter une toxicité aiguë (pic de pollution dans l'air ou l'eau), ou une toxicité due à un effet cumulative (par une exposition continue au milieu pollué ou parce que l'homme est en bout de chaîne alimentaire).

Les métaux lourds s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques, provoquant des effets toxiques. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires,(RAMADE, 1979)

### **2.2 Effets des métaux lourds sur le milieu aquatique**

A de faibles concentrations, beaucoup de métaux lourds, dont Hg, Cd, Pb, As et Cu Inhibent la photosynthèse et la croissance du phytoplancton.

Les effets observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance des adultes chez les poissons, les mollusques et les crustacés. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme, comme les poissons. Cette " bioaccumulation " explique leur très forte toxicité(FLACHIER, 2001).

### **2.3 Effets sur la santé**

En fait, le risque sur la santé humaine est d'abord associé aux propriétés des métaux Lourds à polluer les eaux, l'atmosphère, les aliments et les sols. Et dépendent également de l'état de leur forme chimique, de leur concentration, du contexte environnemental, de la possibilité de passage dans la chaîne du vivant.

Quelques métaux lourds, comme Zn, Cu, Mn et Fe, sont indispensables à la croissance et au bien-être des organismes vivants. On peut néanmoins s'attendre à ce qu'ils aient des effets toxiques quand les organismes sont exposés à des niveaux de concentration supérieurs à ceux qu'ils requièrent normalement. D'autres éléments, comme Pb, Hg et Cd, ne sont pas indispensables aux activités métaboliques et manifestent des propriétés toxiques (tableau II) **(KESSABI,1992)**

Les effets toxicologiques en matière de santé publique pour le cadmium, le mercure et le plomb ont été largement mis en évidence par des travaux antérieurs. En effet, la toxicité du plomb vis-à-vis du système nerveux et des reins a été soulignée en 1999 **(ROONY et al.,1999)**. Le saturnisme a été la première maladie professionnelle reconnue **(DERACHE, 1989)**. La toxicité du cadmium résulte principalement de l'inhibition des enzymes thiols ainsi que de son affinité pour les hydroxyles et les carboxyles.

Il est également l'agent étiologique de la maladie qui se manifeste par des troubles osseux et l'augmentation du taux de phosphatase alcaline **(NOMIYAMA,1973)** **(PURVES,1977)**. L'exposition chronique à de faibles doses en cadmium provoque des dommages aux tubules rénaux, suivis de protéinurie, lésions pulmonaires, hypertension artérielle **(BERTOUILLE,1978)**. La transformation du mercure en un dérivé alkylé, le méthyl mercure, a été à l'origine de la catastrophe écologique de la baie de Minamata **(KITAMURA, 1971)**; la contamination par le mercure peut causer des pharyngites, des gastroentérites, des néphrites, des troubles de la circulation ou des dépôts au niveau des neurones.

**Tableau II** : Principaux effets des métaux lourds (**KITAMURA, 1971**)

Eléments	Effets
As	Toxique, possible cancérigène
Cd	Hypertension, dommage sur le foie
Cr	Cancérigène sous forme de Cr (VI)
Cu	Peu toxique envers les animaux, toxique envers les plantes et les algues à des niveau modéré
Hg	Toxicité chronique et aigue
Ni	Allergies de peau, maladie respiratoires possible cancérigène
Pb	Toxique
Se	Essentielle à faible doses, toxique à doses élevées
Zn	Toxique pour les végétaux à fortes teneurs

### 3. Particularités des métaux lourds étudiés

#### 1. Le Plomb

Le plomb est un élément réputé peu mobile par rapport à d'autres métaux en traces tel que le cadmium (**BOURRELIER, 1998**). Son cycle biogéochimique dépend des caractéristiques physico-chimiques du sol. Le plomb tend à former des complexes particulièrement stables. En conséquence, il va être stocké en grande partie dans le sol.

Toutefois, une fraction mobile peut être absorbée par les organismes vivants (micro- et mésoorganismes du sol, végétaux...) et rentrer ainsi dans la chaîne alimentaire.

##### 1.1. Origine

Le plomb est un métal bleu grisâtre, constitue des gisements primaires dans les roches Éruptives et métamorphiques où il est alors présent essentiellement sous forme de sulfure (galène) (**BOURRELIER, 1998**) Il est redistribué via l'altération dans toutes les roches sous forme de carbonate (cérusite), de sulfate (anglésite) et peut se substituer au potassium dans les roches silicatées et les phosphates. Il s'agit cependant d'un métal dont les composés sont très peu hydrosolubles et de faible mobilité géochimique.



## 1.2. Le plomb dans les sols

Dans les sols, la présence de plomb est naturelle elle est en moyenne de 32 mg/kg (BARRIUSO et al., 1996). Elle résulte également des retombées atmosphériques et des rejets industriels tels que les fonderies et la pétrochimie.

Le plomb est lié aux phases solides du sol par adsorption, précipitation, formation de complexes ioniques ou chélates. Le plomb présente une forte réactivité vis à vis des oxydes de fer et de manganèse mais également vis à vis des phosphates et la matière organique (LALANNE, 2006).

La mobilité du plomb dans le sol est très faible, il a ainsi tendance à s'accumuler dans les horizons de surface et plus précisément dans les horizons riches en matière organique et spécialement pour des sols ayant au moins 5 % de matière organique et un pH supérieur à 5 (BARRIUSO et al, 1996).

La formation de sulfure de plomb, forme très insoluble, explique également l'accumulation du plomb en surface des sols. Les facteurs affectant la mobilité et la biodisponibilité du plomb dans les sols sont donc

- Le pH, en effet à pH acide ou neutre, les ions  $Pb_2^+$  et  $Pb(OH)^+$  prédominent dans la solution du sol ; quand le pH augmente, ces formes sont remplacées par  $Pb(OH)_2$ ,  $Pb(OH)_3^-$  et  $Pb(OH)_4$
- La texture du sol (surtout la teneur en argile),
- La teneur en matière organique

## 2. Le cuivre

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29. C'est un des rares métaux qui existent à l'état natif. Naturellement présent dans la croûte terrestre sous forme de sulfures ( $CuFeS_2$ ), (CuS) de carbonates  $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$  et d'oxyde  $Cu_2O$ . Il est appelé le métal rouge et c'est le plus ancien métal utilisé par l'homme. Les composés du cuivre se présentent sous plusieurs états d'oxydation, généralement ( $Cu^{+2}$ ), par lesquels ils confèrent une couleur bleue ou verte aux minéraux qu'ils constituent. Le cuivre est beaucoup utilisé dans l'industrie et dans l'agriculture ce qui a augmenté sa production lors de ces dernières décennies et de ce fait les quantités de cuivre présentes dans l'environnement ont augmentées surtout dans les eaux de surface. C'est un oligoélément vital pour toutes les plantes, les animaux et naturellement présent dans le corps humain. Il est indispensable au bon fonctionnement de nombreuses fonctions physiologiques : système nerveux

etcardiovasculaire, croissance osseuse, régulation du cholestérol. Mais des quantités de cuivre excessives supérieures à 5mg/l considérée comme norme, peuvent causer des problèmes de santé graves. Le cuivre ne se détruit pas dans l'environnement d'où la nécessité de son élimination(FEIXE et al.,2005).

### 3. Le zinc

Le zinc est un élément chimique de symbole Zn et de numéro atomique 30. C'est un métal de couleur bleu-gris, son état d'oxydation courant est (+2) et son principal minéral est un sulfure de zinc ZnS. Il existe aussi sous forme de carbonate ( $ZnCO_3$ ) et de silicates ( $Zn_4Si_2O_7(OH)_2$ ,  $H_2O$ ). Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol et il est essentiel pour la santé de l'homme. Mais le rejet dans la nature de quantités importantes du zinc, engendré par les activités humaines, peut provoquer des problèmes de santé graves et constituer une menace pour le bétail et pour les plantes. La production mondiale de zinc ne cesse d'augmenter, ce qui signifie que de plus en plus de zinc se retrouve dans l'environnement(FEIXE et al.,2005).

### 4. Le cadmium

Le cadmium est un élément chimique de symbole Cd et de numéro atomique 48. Il n'existe pas à l'état natif mais il est présent presque dans tous les minerais de zinc à des teneurs qui varient entre 0,01 et 0,05%. C'est un métal blanc argenté très toxique sous toutes ses formes et il n'a aucune fonction connue dans le corps humain ou chez l'animal. Il faut éviter son contact avec les aliments car l'absorption par voie digestive de 0,9 g peut entraîner des troubles graves : il est cancérigène et mutagène. L'OMS recommande de ne pas dépasser un taux de 5 à 7  $\mu g/Kg$  et par semaine et de 3 à 5  $\mu g/l$  pour la boisson. La valeur limite d'exposition aux fumées d'oxydes de cadmium est de 0,05  $mg/m^3$ (FEIXE et al.,2005).

### 5. Le chrome

Selon le pH et le potentiel redox du sol, le chrome peut exister sous forme anionique ou cationique, sous forme trivalente ( $Cr^{3+}$  et  $CrO^{2-}$ ) ou hexavalente ( $Cr_2O_7^{2-}$  et  $CrO_4^{2-}$ ). Le chrome hexavalent, qui est essentiellement issu des activités industrielles, est en grande partie réduit en  $Cr^{3+}$ , notamment pour des pH inférieurs à 5 et en présence d'agents réducteurs comme le soufre et la matière organique.

Le chrome hexavalent non réduit peut se maintenir à l'état anionique mobile ou s'adsorber sur les oxydes de fer.

Le chrome trivalent, plus stable, prédomine sous forme organométallique soluble ou, plus généralement, sous forme précipitée d'oxydes hydratés, associés ou inclus dans des oxydes de fer et des complexes organométalliques insolubles. Moins de 1 % du chrome est extractible par des réactifs tels que l'EDTA, le chrome est donc peu mobile.

Sous une forme adsorbée sur les hydroxydes métalliques, le Cr est peu disponible aux végétaux. La concentration en Cr des végétaux est donc principalement contrôlée par la concentration du Cr en solution dans le sol. Le Cr dans un sol neutre ou basique sera donc plus disponible vis-à-vis des plantes que dans un sol acide.

Le chrome est utilisé dans le traitement de surface des métaux. Il est nocif à l'état hexavalent, mais il est rapidement transformé en forme trivalente moins dangereuse dans le milieu marin (**RAMADE, 1993**)

### **6. Le fer**

Dans des conditions aérobies,  $Fe^{2+}$  est libéré et il s'oxyde en  $Fe^{3+}$  et précipite sous forme d'oxydes insolubles. Dans le sol, le fer présente une grande affinité pour les complexes organiques mobiles et les chélates. Ces composés interviennent dans la migration du fer dans les horizons du sol. Le fer est assez mobile dans les sols acides et ennoyés régulièrement (sous forme réduite  $Fe^{2+}$ ) (**FREDEEN et al., 2005**)

### **7. Le manganèse**

La plus grande partie du manganèse du sol se trouve sous forme d'oxydes en équilibre avec les ions  $Mn^{2+}$  adsorbés sur le complexe argilo-humique ou présents, à des concentrations de  $10^{-6}$  à  $10^{-4}M$  dans la solution du sol. La mobilité du manganèse est très dépendante du pH mais aussi des conditions redox du milieu:

- À pH inférieur à 6,5 ( $pH < 6,5$ ): les formes les moins oxydées dominent, ce sont elles qui libèrent le plus facilement  $Mn^{2+}$ , forme sous laquelle s'effectue préférentiellement le transfert de manganèse.
- Au delà de  $pH = 7$ : la prédominance des oxydes tri et tétravalents, extrêmement peu soluble limite considérablement la mobilité de cet ETM.
- Contrairement à beaucoup d'autres ETM, l'aptitude du manganèse à la complexation par des substances organiques est peu marquée, de sorte que l'essentiel des transferts s'effectue sous forme d'ions  $Mn^{2+}$  libres (**FREDEEN et al., 2005**).

## 8. Le nickel

Les formes chimiques du Ni dans le sol sont:

$\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{NiHCO}_3^+$ ,  $\text{NiCO}_3$ .

Le Ni est facilement prélevé par la plante. Il a été postulé que Ni associé aux oxydes de fer et de manganèse semble être le plus disponible pour la plante (**PENDIAS, 2001**)

Les céréales absorbent une quantité nettement plus importante de Ni lorsque celui-ci est ajouté au sol, qu'en étant d'origine géologique. Les grains d'avoine accumulent plus de Ni que la paille. Le chaulage diminue le transfert.

Le Ni est peu toxique pour l'homme. Les effets toxiques du Ni sur le maïs se traduisent par un ralentissement de croissance des racines et par une diminution du nombre de grain par épi, ce qui implique une diminution significative de la production du maïs (**FREDEEN et al.,2005**).

## 9. Le selenium

Le sélénium est l'élément chimique de numéro atomique 34, de symbole Se. Ce troisième élément du groupe VI A est considéré comme un métalloïde membre du groupe des chalcogènes. La chimie du corps simple et de ses principaux composés présente en effet une grande analogie avec le soufre (**FREDEEN et al.,2005**).

On le trouve sous forme (IV) et (VI). Dans les sols acides et faiblement aérés, le Se est sous forme de selenures ( $\text{Se}^{2-}$ ) de métaux ou de sélénium élémentaire métallique ( $\text{SeO}$ ), insolubles. Dans les sols alcalins et bien aérés, il est sous forme de selenites ( $\text{Se}_3^{2-}$ ), selenates ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) ou molécules organiques, absorbables par les plantes.

Les micro-organismes du sol et les plantes sont capables de méthyler le Se et de produire des selenures méthyles et diméthyles volatils. Les feuilles de plantes peuvent aussi absorber le selenure méthyle émanant du sol (**FREDEEN et al.,2005**).

## 10. L'arsenic

L'arsenic est un élément présent naturellement dans l'environnement. L'arsenic natif existe sous trois formes allotropiques : jaune ( $\alpha$ ) ; noire ( $\beta$ ) et grise ( $\gamma$ ). Cette dernière, qui est la forme la plus stable et la plus commune, cristallise dans le système rhomboédrique. L'arsenic, dans ce cas, apparaît sous un aspect gris métallique, assez cassant. L'arsenic appartient au groupe Va de la classification

périodique. Il possède de nombreuses propriétés communes avec les éléments voisins (azote, phosphore, bismuth, antimoine).

Les isotopes de l'arsenic ont des masses atomiques comprises entre 69 et 86. Mais seul  $^{75}\text{As}$  est stable, représentant la totalité de l'arsenic dans la nature. Les autres isotopes ont une durée de demi-vie comprise entre 95,8 ms pour  $^{66}\text{As}$  et 80,3 jours pour  $^{73}\text{As}$ . (DELAUNE et al., 1991).

#### 4. Origines des pollutions

Les apports sont d'origine anthropique (activités minières, industrielles, agricoles ou domestiques, eaux usées, déchets solides), ou naturelle depuis les sols en contact avec l'eau et des dépôts à l'air libre (Tableau III).

**Tableau III** : Éléments sur l'origine de quelques métaux dans des eaux et principaux effets sur les êtres vivants (FERNANDEZ-TURIEL et al., 1995)

Élément	Origine	Effet sur les métabolismes
<b>As</b>	Milieu géologique, pesticides, industrie minière.	Associé aux protéines complexes avec des enzymes bio-accumulable hyperkératose toux infarctuse diarrhées...cancérogène inhibe la production de l'atp
<b>Cd</b>	Industrie minière, électrodeposition, tuyauteries	Remplace biochimiquement le Zn, génère tension élevée et maladies rénales, détruit le tissu testiculaire et les hématies, toxique pour le biote aquatique, inhibiteur enzymatique, accumulative dans le foie, les reins et le pancréas, toxique pour la reproduction.
<b>Cr</b>	Électrodeposition, tannage	Élément essentiel à niveaux de trace, facteur d'intolérance au glucose, apparition de diabète, Cr(VI) cancérogène, Cr(III) essentiel.
<b>Cu</b>	Milieu géologique, industrie minière, métallurgie.	Élément essentiel à niveaux de trace, activité enzymatique, faible toxicité chez les animaux, toxique pour les plantes et algues à niveau modéré, troubles gastro-intestinaux
<b>Fe</b>	Milieu géologique corrosion des métaux rejet industriel	Nutriment essentiel, composant de l'hémoglobine, sa déficience génère l'anémie, faible toxicité
<b>Mn</b>	Milieu géologique industries minières	Élément essentiel, faible toxicité chez les animaux, toxique pour les plantes
<b>Ni</b>	Rejet industriels	Irritant, allergisant rénales possible cancérogène
<b>Pb</b>	Milieu géologique industries essence canalisation certaines peintures anciennes	Toxique (anémie, rein, système nerveux), inhibition de la synthèse de l'hémoglobine, accumulative, atteinte du OI

<b>Se</b>	Milieu géologique	Essential à basse concentration, toxique à forte concentration, troubles digestifs, caries, atteinte nerveuses à fortes doses.
<b>Zn</b>	Milieu géologiques rejets industriels	Essential pour quelques métalloenzymes, très faible toxicité.

# Chapitre II

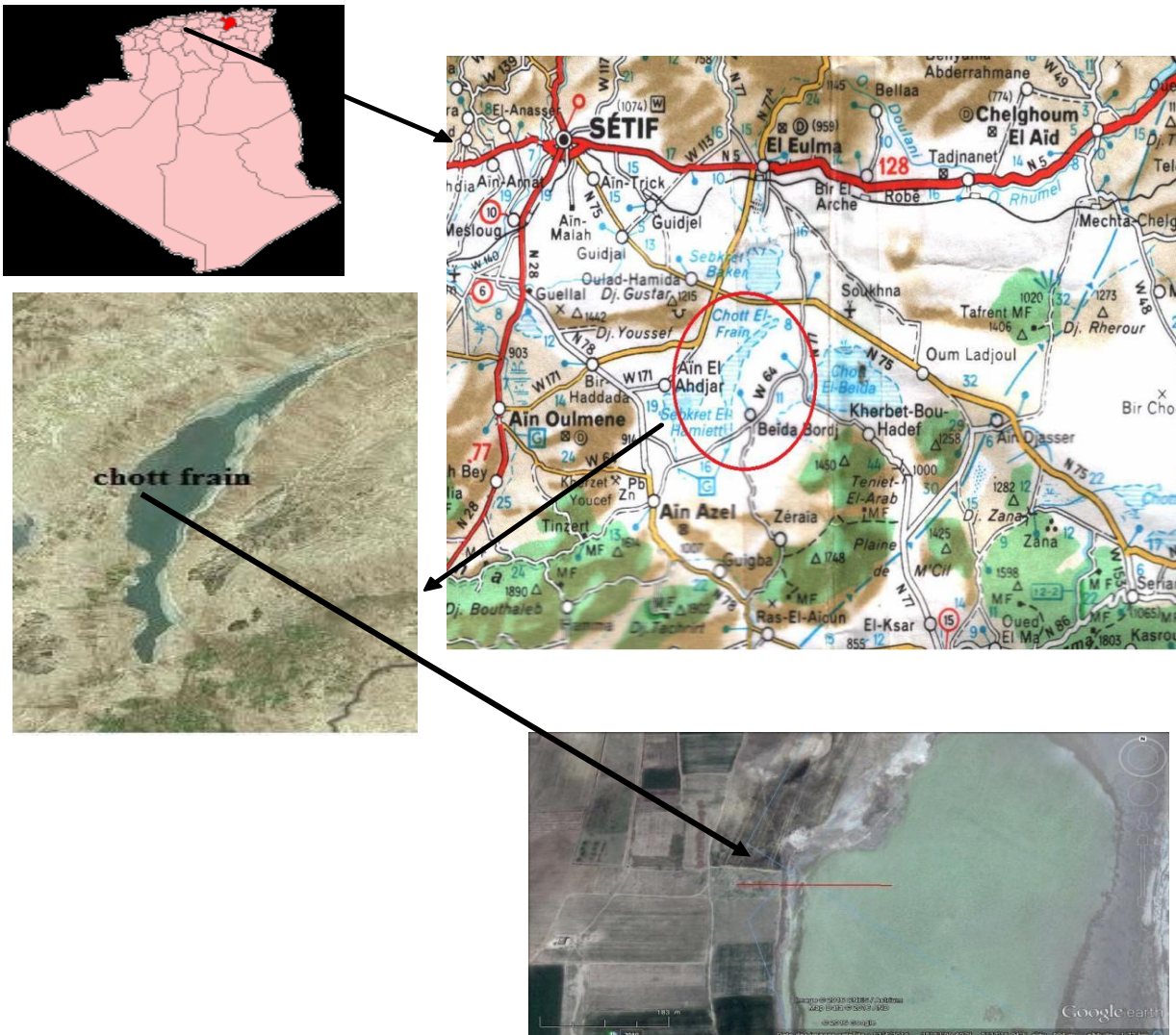
Matériel et méthodes

## Chapitre II : Matériel et Méthodes

### 1. Présentation générale de la zone d'étude (Zone humide Chott El Frain wilaya de Sétif)

#### 1.1. Situation géographique

Chott El Frain est une zone humide plus longue que large. Elle est située sur le territoire des communes de Tella et de Beida Bordj. Elle est limitée à l'Ouest par le mont d'Ouled Kassem et Kharbet El frain, à l'Est par Mechtet Cheikh Essaid, Mechtet El-Bir, Beida Bordj et Djebel Sedra, au Nord par Mechtet El-Marharder et Bir-Djedid. Au sud par les monts de Ouled Zid et Djebel kalaouan (figure 05).



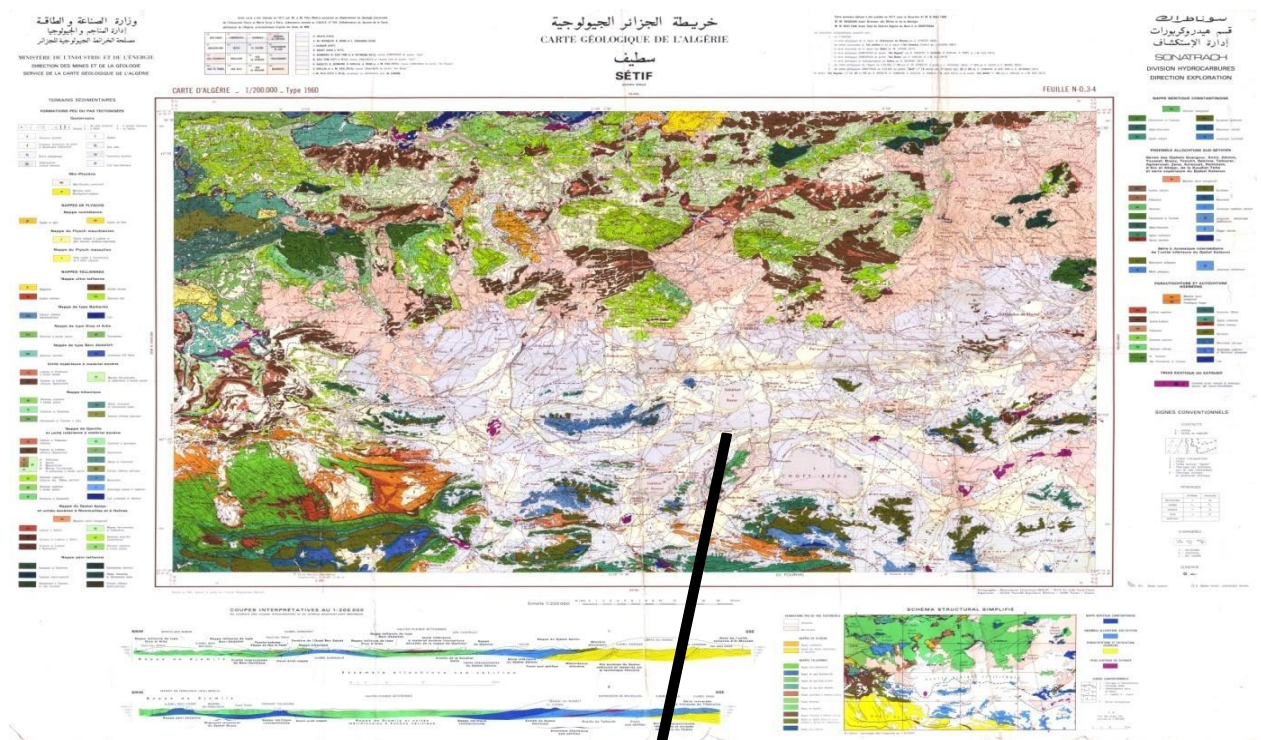
Source: Google Earth

**Figure 05:** Situation Géographique de Chott El Frain (WILAYA DE SETIF)



### 1.2. Géologie

Les hautes plaines Sétifiennes appartiennent à la chaîne alpine qui constitue les reliefs de toute l'Algérie septentrionale (VILA, 1980). Ces plaines sont de vastes étendues aplanies ou nivelées autour d'une altitude moyenne de 940 mètres (Figure 06). La carte géologique (VILA, 1977) montre la lithomorphologie et la tectonique de la zone et permettent de distinguer les ensembles suivants :



Source : (VILA .1977 )

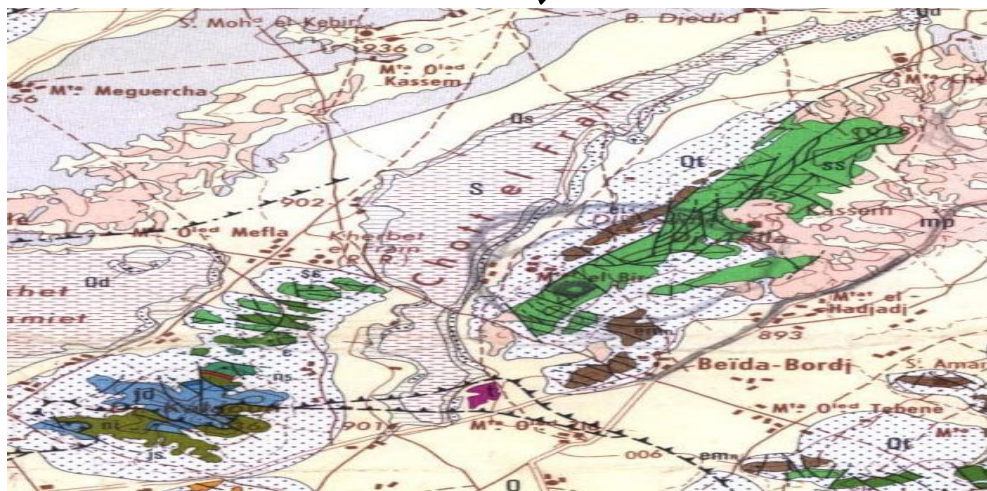


Figure 06 : Carte géologique de la wilaya de Sétif (Chott El Frain)

### 1.2.1. Terrains peu ou pas tectonisés

Ces terrains sont ceux du quaternaire et du Mio-pliocène.

#### 1.2.1.1 Quaternaire

Les terrains quaternaires sont très hétérogènes et on y trouve du sable, des limons, des Cailloutis et surtout des argiles. Parmi ces terrains, se trouvent ceux relatifs aux chotts et sebkhas, où sont associées les formes classiques de l'endoréisme.

#### 1.2.1.2 Mio –pliocène

Le mio-pliocène correspond à des dépôts fluvio-lacustres offrant habituellement une coloration rougeâtre assez prononcée ; la base du mio-pliocène formée de calcaires lacustres, au dessus desquels reposent des marnes grises, des cailloutis qui contiennent de grosses lentilles conglomératiques et des niveaux de sels ou de gypse (**BOUDOUKHA., 1988**).

En conclusion, l'étude géologique a fourni des éléments importants sur les formations géologiques existantes et la structure du secteur étudié

### 1.3. Climat

La connaissance des conditions climatiques d'une région nécessite de longues séries de données climatiques (pluies, température, vents, ...etc.), car elles permettent de voir l'évolution du climat sur la région et aussi de maîtriser les fluctuations observées lors des changements climatiques et leurs effets possible (**BENSAID, 2006**).

Pour notre zone d'étude, nous avons utilisé les données les plus récentes de la station de (Sétif) observées sur une durée de 26 ans (1989-2014) (tableau IV).

Les données communiquées par la station météorologique

**Tableau IV:** Les caractéristiques des stations météorologiques

La station	Latitude	Longitude	Altitude	Données	Périodes
Sétif	36.18	5,41	1038	P et T	1989-2014

#### 1.3.1. Précipitations

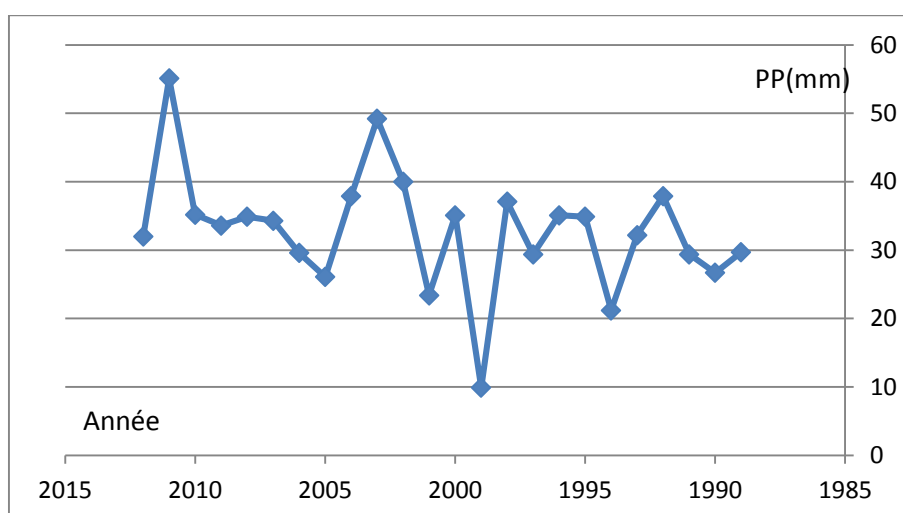
L'utilité des précipitations dépend en effet de leur rythme saisonnier, de la nature et de la porosité du sol, enfin du taux d'évaporation, qui est lui-même fonction des vents Prédominants, ainsi que de la température et de l'humidité atmosphérique au niveau du sol. La température d'un lieu dépend à la fois de son éloignement de l'équateur (c'est-à-dire de sa latitude nord ou sud) de son altitude, du nombre d'heures

d'ensoleillement et des mouvements de l'air. Enfin, l'humidité relative de l'air à la surface du sol est elle-même liée à la direction et à l'humidité des vents prédominants (CHARIFI et HARKATI, 2012).

Le tableau V présente la répartition annuelles des précipitations de la station de Sétif.

**Tableau V:** Les variations interannuelles des précipitations de la station de Sétif (1989-2012)

L'année	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
PP(mm)	29.7	26.7	29.4	37.9	32.2	21.2	34.9	35.1	29.4	37.1	9.9	35.1
L'année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PP(mm)	23.4	40	49.2	37.9	26.1	29.6	34.3	34.9	33.6	35.2	55.1	32



**Figure 07 :** Moyenne annuelles des précipitations

Nous avons remarqué que l'année la plus pluvieuse est l'année 2011 et l'année la plus sèche est l'année 1999.

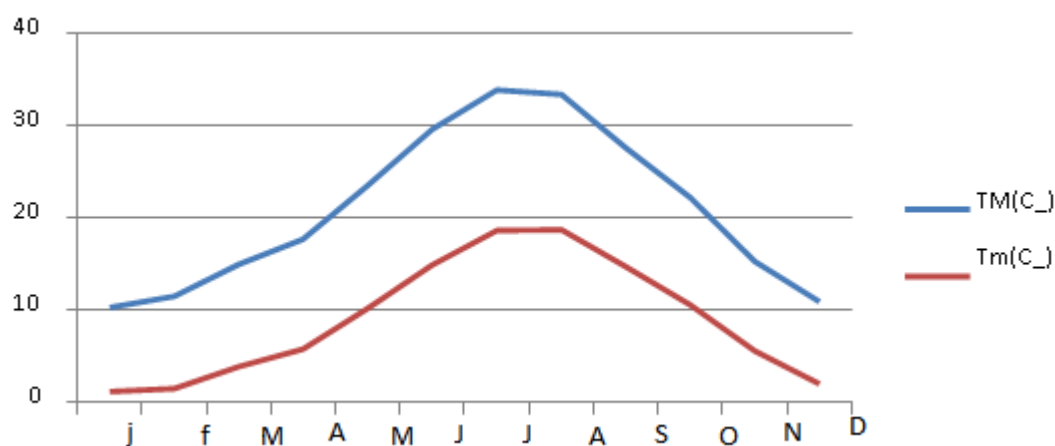
### 1.3.2. La température

La caractérisation de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minimums et des maximums. La moyenne mensuelle, le minimum et le maximum absolu ainsi que l'amplitude thermique (DJEBAILI, 1984).

**1.3.2.1. La température moyenne mensuelle interannuelle** Le tableau ci-dessous présente les moyennes mensuelles des températures durant 26 ans (1989 - 2014).

**Tableau VI :** Variation des températures mensuelles

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>TM(°C)</b>	10,2	11,4	14,9	17,6	23,4	29,5	33,8	33,3	27,5	22,1	15,2	10,8
<b>Tm(°C)</b>	1,1	1,4	3,8	5,7	10,1	14,8	18,5	18,6	14,6	10,5	5,5	1,9

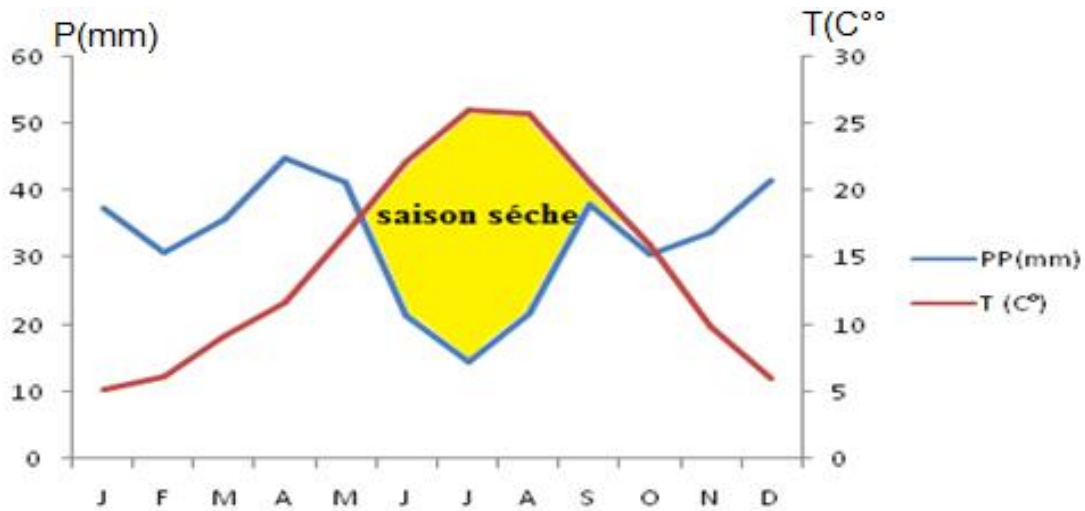


**Figure 8:** Variation mensuelle des températures minimales et maximales (1989-2014)

La représentation graphique de ces températures est portée sur le graphe de la figure 8. En examinant ces deux courbes, nous constatons que les valeurs des températures minimales ( $T_m$ ) au cours de cette décennie (1989-2014), varient entre 1.1 et 1.4 respectivement pour le mois de Janvier et le mois de Février. Par contre les valeurs des températures maximales ( $T_M$ ) varient de 33.8 pour le mois de Juillet et 33.3 pour le mois d’Août.

**1.3.3. Diagramme ombrothermique**

Le diagramme ombrothermique est une représentation sur laquelle les températures sont reportées sur un axe et les précipitations sur l'autre axe et en fonction des 12 mois de l'année dont ( $P=2T$ )



**Figure 9** : Diagramme ombrothermique de la station de Sétif (1989-2014)

Selon le diagramme ombrothermique de la wilaya de Sétif, il s'avère que la saison sèche dure du la mi- mai jusqu'à la mi-octobre, le reste de l'année est représentée par la saison humide.

Durant la saison sèche  $P < 2T$  les précipitations sont faible et les températures sont fortes, Il y a une forte évaporation, la solution du sol se concentre, la salinité augmente et la concentration en élément chimiques dans la solution du sol augmente.

Il est important de connaitre s'il s'agit d'une saison sèche ou d'une saison humide dans le cas de la réalisation d'un échantillonnage sur le terrain, l'état hydrique du sol influence fortement la composition chimique de la solution du sol.

Dans le cadre de cette étude l'échantillonnage sur terrain a été réalisé durant le mois de novembre 2015, ce qui correspond à la saison humide, ce paramètre est important à prendre en considération lors de l'interprétation des résultats.

#### 1.3.4. Le Vent

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. D'après la station météorologique, les vents dominants sont de direction Nord et Nord-Ouest, avec des vitesses moyennes variant entre 2.9 et 3.45 m/s .Ces vents en contact avec le massif de l'Edough et la barrière montagneuse du Sud, déversent des pluies au passage.

**Tableaux VII:** Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s) à la station Sétif  
(2000-2010)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moy
<b>vent (m/s)</b>	3.04	2.90	3.05	3.45	3.31	3.30	3.24	3.02	3.03	3.18	3.13	3.01	3.16

**Tableaux VIII :** Fréquence des vents de la région de Sétif (2000-2010)

Direction des vents	Fréquence (%)
Nord (N)	8.6
Nord-est (N.E)	2.5
Est (E)	5.9
Sud-est (S.E)	29.7
Sud (S)	15.9
Sud-ouest (S.W)	0.4
Ouest (W)	10.4
Nord-Ouest (N.W)	26.5

La connaissance de la vitesse et de la direction du vent est importante dans l'étude des phénomènes de pollution. Le vent est un facteur très important qui règle l'érosion éolienne, le transport des poussières. Dans le domaine de la pollution atmosphérique, le vent joue un rôle dans le transport des poussières chargées en Cu, Fe ...etc, dans le cas d'exploitations minières d'une part, et le transport du plomb émis par les gaz et les fumées industrielles et les gaz d'échappement des véhicules d'autre part.

Selon la vitesse du vent, ce dernier peut transporter ces polluants sur des kilomètres de distance.

## **2. Méthodologies**

Dans ce chapitre nous allons présenter la méthodologie adoptée pour l'étude de la pollution des sols de chott El Frain, pour cela les démarches suivantes ont été suivies :

1. phase bureau
2. travaux sur terrain
3. analyse au laboratoire
4. traitement des données

### **1. Phase bureau**

Elle consiste à l'étude des documents de base concernant la zone d'étude et la reconnaissance du terrain, cette étape est très importante pour le choix de l'emplacement de la toposéquence. Deux critères ont été pris en considération pour implanter les profils pédologiques étudiés :

1. l'accessibilité
2. L'éloignement des sources de polluants.

### **2. Echantillonnage sur le terrain**

Ce travail est basé sur l'étude de la pollution d'une toposéquence de 250 m environ se situant au sud ouest de chott El Frain, la toposéquence traverse le chott dans le sens latéral, elle va du centre du chott vers la périphérie. Ce choix a été fait dans le but de suivre un gradient de salinité décroissant.

Après le choix de l'emplacement, 8 profils pédologique de (1.50 x 1.50 x 1.80 m) ont été creusé le long de la toposéquence le profil numéro 01 correspond au profil qui se trouve vers le centre du chott donc il est le plus salé, le profil 08 par contre se situe à la périphérie et correspond donc au profil le moins salé (figure 10).

1. Les profils ont été géoréférencé avec un GPS de navigation les coordonnées géographique sont présenté dans le tableau IX.
2. L'échantillonnage a été effectué d'une façon systématique c'est-à-dire que la distance entre les profils est fixe, et est d'environ 25 m.

Cette méthode d'échantillonnage permet d'éliminer toute source de subjectivité.



**Figure 10** : Toposéquence étudiée (Google Earth)

**Tableaux. IX:** Coordonnées géographiques des profils pédologiques

Profil	Cordonnées géographiques
N°1	Latitude : 35° 53' 17.4444" Longitude: 5° 37' 30.3348"
N°2	Latitude: 35° 53' 0.6576" Longitude : 5° 53' 14.322"
N°3	Latitude: 35° 53' 0.1272" Longitude : 5° 37' 14.2716"
N°4	Latitude: 35° 53' 17.4444" Longitude : 5° 37' 30.3348"
N°5	Latitude: 35° 53' 0.3732" Longitude : 5° 37' 11.9604"
N°6	Latitude: 35° 53' 1.158" Longitude : 5° 37' 11.3376"
N°7	Latitude : 35° 53' 0.8412" Longitude: 5° 37' 9.1848"
N°8	Latitude: 35° 53' 1.2954" Longitude : 5° 37' 8.1444"

### 3. Méthodes

Chaque profil a subi l'objet d'une description sur le terrain, dans le but de délimiter les horizons pédologique de chaque profil.

Plusieurs critères ont été pris en considération pour différencier et délimiter les horizons, pour cela nous avons utilisé la fiche de description stipa qui constitue sorte



de guide standard qui permet de décrire: la profondeur, la couleur, la texture, la porosité, la structure, la matière organique, l'activité biologique...etc.

La couleur des échantillons de sol à été déterminée selon la charte MUNSELL (soil color chart).

Après la description et la délimitation des horizons pédologique (28 horizons), un échantillon de sol représentatif d'environ 1 kg a été prélevé de chaque horizon, en utilisant un matériel propre pour éviter toute source de contamination.

Les échantillons ont été conditionnés dans des sacs en polyéthylène réservés à l'échantillonnage des sols pollués.

### **3.1. Préparation des échantillons**

L'objectif de la préparation des échantillons avant analyse est d'obtenir un échantillon représentatif dans lequel la concentration en polluants est aussi proche que celle présente dans le sol. C'est souvent l'étape la plus longue et celle qui génère le plus de sources d'erreur dans la chaîne analytique elle comprend :

- ❖ La réception de l'échantillon, briser les grosses mottes de terre et séchage à l'ombre et à l'air libre.
- ❖ Après séchage, enlever les cailloux et les débris végétaux et réduire les agrégats à l'aide d'un pilon en bois.

Broyer et tamiser les échantillons à l'aide d'un tamis de 2 mm de maille pour l'analyse de tous les éléments. Les échantillons sont conservés dans des boîtes en polyéthylène qui se ferme hermétiquement (USSL, 1954).

### **3.2. Conservation des échantillons**

Aucun agent de conservation n'est requis et les échantillons peuvent être conservés à la température ambiante. Le délai de conservation entre le prélèvement et l'analyse ne doit pas excéder 6 mois (USSL, 1954).

### **3.3. Analyses au laboratoire**

#### **3.3.1. L'extrait de pâte saturée**

La réalisation de l'extrait de pâte saturée passe par plusieurs étapes : (USSL, 1954)

1. L'humidification d'une quantité de sol d'environ 300 g avec une eau bi distillée tout en malaxant le sol, cette opération s'arrête lorsque la pâte atteint le point de saturation.
2. La pâte est laissée en équilibre pendant 24h.

3. Centrifugation de la pâte à 3000 tours /minute pendant 15 minutes pour récupérer la solution du sol.

4. La solution du sol est ensuite filtrée et conservée dans des flacons en verre.

### 3.3.2. Le pH et la Conductivité électrique (CE)

Le pH et la conductivité électrique ont été réalisés sur la solution du sol (USSL, 1954).

### 3.3.3. Calcaire total (CaCO<sub>3</sub>)

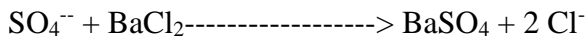
Le dosage du calcaire total présent dans les échantillons de sol a été effectué par la méthode volumétrique au calcimètre de BERNARD (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).

### 3.3.4. Gypse

Dosage des ions SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, libérés en solution par attaque au carbonate d'ammonium.

Le sol est traité à chaud par une solution de carbonate d'ammonium. Ce traitement permet par une double décomposition de faire passer en solution l'ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et de précipiter Ca<sup>2+</sup> sous forme de Ca CO<sub>3</sub>

Au filtrat acidifié, est ajouté à chaud une solution de chlorure de baryum, l'ion sulfate précipite sous forme de sulfate de baryum (BaSO<sub>4</sub>) (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).



### 3.3.5. Matière organique

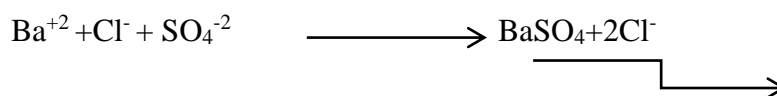
Le teneur en matière organique dans le sol est estimé à partir de la calcination de la matière organique à 1050 °C dans un four à moufle et élimination du taux de calcaire (HOUBA et al., 1995).

### 3.3.6. Bilan anionique

Le bilan anionique a été réalisé sur la solution du sol:

**-Dosage des chlorures (Cl<sup>-</sup>) :** cette analyse a été réalisée selon la méthode de Mohr ; dosage par titrimétrie au nitrate d'argent (RODIER, 2005).

**-Dosage des sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :** Le dosage des sulfates est basé sur la réaction en milieu acide, entre l'ion sulfate et le chlorure de baryum qui conduit quantitativement à la formation de sulfate de baryum, sel très peu soluble (VAN REEUWIJK, 1987).



Précipité blanc

**-Carbonate et bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )**

Le dosage a été fait par titrimétrie à l'acide sulfurique en présence d'indicateur : l'orange de méthyle (RODIER, 2005).

**-Dosage des Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :** Dosage des nitrates par spectrophotométrie ; dosage colorimétrique en présence de salicylate de sodium (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).

**-Dosage des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) :** Dosage des nitrites par spectrophotométrie par la méthode au réactif de Zambelli, dosage colorimétrique en présence de l'acide sulfanilique (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).

**-Dosage des Orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) :** Dosage des orthophosphates par spectrophotométrie dosage colorimétrique en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium (RODIER, 2005).

**-Dosage de Borate :** Dosage de Bore par la méthode colorimétrique au carmin, en milieu acide, le Bore forme avec l'acide carminique un complexe permettant une mesure par spectrophotométrie (RODIER, 2005).

**3.3.7. Analyse des métaux lourds**

Dans cette étude les métaux lourds ont été dosés sous leurs formes totales. Dix métaux lourds ont été dosés voir : Arsenic, Cadmium, Zinc, Nickel, Chrome, Sélénium, Fer, Manganèse, Cuivre, Plomb.

**Analyse des métaux lourds par ICP-MS spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)**

Cette méthode se déroule en deux étapes, l'extraction des métaux lourds totaux par voie acide à l'eau régale, et le dosage par ICP-MS :

- On pèse 0.5 g de sol séché broyé et tamisé à 2 mm ;
- On met l'échantillon dans un tube en PTFE (poly tetro fluoride ethylène) ;
- Sous la hôte, avec une pipette de précision, on rajoute 5 ml d'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  pur et 2 ml d' $\text{HCl}$  pur ;
- On ferme les tubes hermétiquement et on les dispose dans le support à microondes ;
- On dispose les tubes dans le microonde ;
- On réalise l'extraction ou la digestion dans un microonde à 800 watt, 210 °C pendant 40 minutes ;
- On attend environ 20 minutes pour le refroidissement ;
- On verse le contenu des tubes en Teflon dans des tubes en polyéthylène et on complète le volume jusqu'à 50 ml avec de l'eau ultra pure ;

- On filtre les solutions pour éliminer la silice résiduelle à l'aide d'une seringue disposé d'un filtre spécial ;
- On réalise le dosage des métaux par le spectromètre de masse à plasma à couplage inductif ;
- Les résultats fournis par le spectromètre de masse à plasma à couplage inductif sont exprimé en ppb (partie par billion) puis convertis en ppm.



### La spectroscopie de masse avec plasma couplé par induction (ICP-MS) (inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer)

C'est un instrument qui offre une grande sensibilité pour le dosage des traces. L'ICP-MS permet l'analyse de presque tous les éléments du béryllium à l'uranium. Il est devenu un instrument incontournable pour l'analyse des éléments en trace et ultra-traces dans les roches, l'eau, les sols, ainsi que la plupart des matériaux, depuis la matière organique jusqu'aux composants électroniques. Comme en ICP-AES, l'échantillon à analyser subit d'abord une dissolution. La solution ainsi obtenue est introduite dans une chambre de vaporisation



qui forme un aérosol de très fin à l'aide d'argon. L'aérosol est envoyé dans un plasma d'argon à très haute température (entre 5 000 et 10 000 °C), nécessaire pour ioniser la plupart des éléments.

Les ions produits sont acheminés vers l'analyseur de masse. L'interface entre la torche plasma et le spectromètre de masse est constituée de deux cônes successifs. Le premier cône (échantillonneur) sert à extraire les ions du plasma. Le deuxième (écrémeur) permet de centrer le jet supersonique. Sa fonction est de transférer un échantillon représentatif du plasma d'ions vers une chambre sous vide où les ions sont ensuite focalisés. Le transfert des ions se fait par pompage, depuis la partie torche sous pression atmosphérique vers le quadripôle et le détecteur opérant sous vide. Après séparation par champ électrique ou magnétique (suivant les modèles et les performances de résolution en masse souhaitée), les ions sont détectés et comptés par un multiplicateur d'électrons (BOUHNICK-LE-COZ et al., 2001).

## 4. Traitement des données

### 4.1. Analyse en composantes principales ACP

Analyse en composante principale afin d'identifier, hiérarchiser et quantifier les différentes sources de variation de la composition chimique des solutions, une analyse en composante principale (ACP) a été conduite à partir de la matrice des corrélations, cette méthode permet de supprimer l'effet du choix des unités ou des disparités liées aux comparaisons entre éléments mineurs et majeurs.

Cette méthode de traitement des données multi-paramètre permet de hiérarchiser les processus impliqués.

Selon (VILAIN, 1999), l'ACP est la méthode de base de l'analyse multidimensionnelle, on l'utilise lorsqu'on mesure P variables numériques jouant toutes le même rôle sur N individus ou unités et que l'on cherche les variables qui expliquent le mieux les différences entre eux ou elles.

Elle est fondée sur le principe de double analyse d'un nuage de points de recherche des axes d'inertie de ce nuage et de double projection sur les axes factoriels. Cette méthode basée sur l'étude de la covariance ou de la corrélation entre les variables, consiste à décrire un ensemble d'individus et un ensemble de caractères quantitatifs (ALIAT, 2007).

Le point de départ de l'analyse est un tableau à double entrée où les colonnes représentent les variables (paramètres physico-chimiques du sol) et les lignes représentent les individus (les échantillons de chaque horizon)

En A.C.P, on cherche à obtenir une projection sur un plan présentant des distorsions minimales de la configuration exacte ; notons que deux (02) individus ou deux (02) variables se ressemblent d'autant plus qu'ils sont proches l'un de l'autre; les caractères peu sélectifs sont regroupés au centre du diagramme (**BOUKABOUB, 1989 in ALIAT, 2007**) et plus un point se situe à droite sur le graphique plus il s'écarte de la moyenne par de fortes valeurs des caractères, les points situées à gauche du graphique correspondent évidemment au phénomène inverse (**ALIAT, 2007**)

#### **4.2. L'analyse factorielle des correspondances AFC**

L'analyse factorielle des correspondances, mise au point par (**BENZECRI, 1973**), s'applique à des données qualitatives ou semi-quantitatives et permet de représenter sur une même carte plane ou spatiale deux ensembles, l'ensemble R (relevés) et l'ensemble E (espèce), de telle sorte que chaque relevé se trouve entouré des espèces et que chaque espèce soit entourée des relevés où elle figure. Les représentations graphiques sont les projections du nuage de points sur les axes principaux, les premiers axes sont ceux qui représentent mieux le nuage.

# Chapitre III

Résultats

Et discussion

## Chapitre III : Résultats et discussion

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'étude de l'état de pollution des sols salés de chott El Frain qui représente l'une des zones humides les plus importantes à l'échelle nationale.

### 1. Caractérisation physico-chimique des sols de chott El Frain

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus sur les huit profils pédologiques de la toposéquence sont présentés dans le tableau X.

**Tableau X:** Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de sols prélevés sur les huit profils pédologiques

Echantillons	pH	CE dS/m	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)	Matière Organique (%)	Humidité a saturation (%)
P1H1	7,83	85,84	8,34	23,61	28,24	85.2
P1H2	8,01	100,3	6,02	25,97	27,63	88.1
P1H3	7,9	57,94	39,61	13,87	15,92	68.2
P1H4	7,64	133,38	52,815	7,97	18,7	70.9
P2H1	7,7	89,84	9,035	27,15	24,15	73.2
P2H2	7,5	103,27	7,18	24,94	30,14	75.3
P2H3	7,81	110,69	47,03	20,51	16,16	36.5
P2H4	7,8	112,97	58,145	7,97	19,43	93
P3H1	7,85	124,08	10,655	27,45	25,46	71.6
P3H2	7,6	158,69	11,355	26,42	26,56	75.4
P3H3	8,03	135,001	68,1	7,67	16,18	67.7
P3H4	8,08	88,68	46,33	5,75	21,86	86.1
P4H1	7,7	68,37	31,73	10,92	19,28	69.1
P4H2	7,44	39,46	48,645	5,75	15,47	69.5
P4H3	7,75	25,33	80,38	9,15	2,95	65.8
P4H4	8,04	32,001	63,47	6,05	5,16	63.2
P5H1	8,1	4,99	20,15	15,64	25,41	86.1
P5H2	7,8	35,75	49,11	7,67	13,27	97



P5H3	7,95	18,63	83,86	12,39	1,27	94.3
P6H1	7,87	4,71	17,83	28,92	27,4	95.6
P6H2	8,1	27,17	12,97	6,78	25,07	49.7
P6H3	7,75	20,93	91,27	4,72	0,51	68.4
P7H1	8,18	5,08	17,365	22,58	25,002	87.6
P7H2	7,93	30,44	14,125	19,63	23,98	67.7
P7H3	8,05	25,25	76,445	19,04	3,63	62.3
P8H1	8,2	5,04	14,125	23,17	26,38	71.4
P8H2	7,7	27,5	37,985	20,07	11,01	59.6
P8H3	7,91	9,99	80,615	18,3	15,85	87.1

1.1. L'humidité à saturation

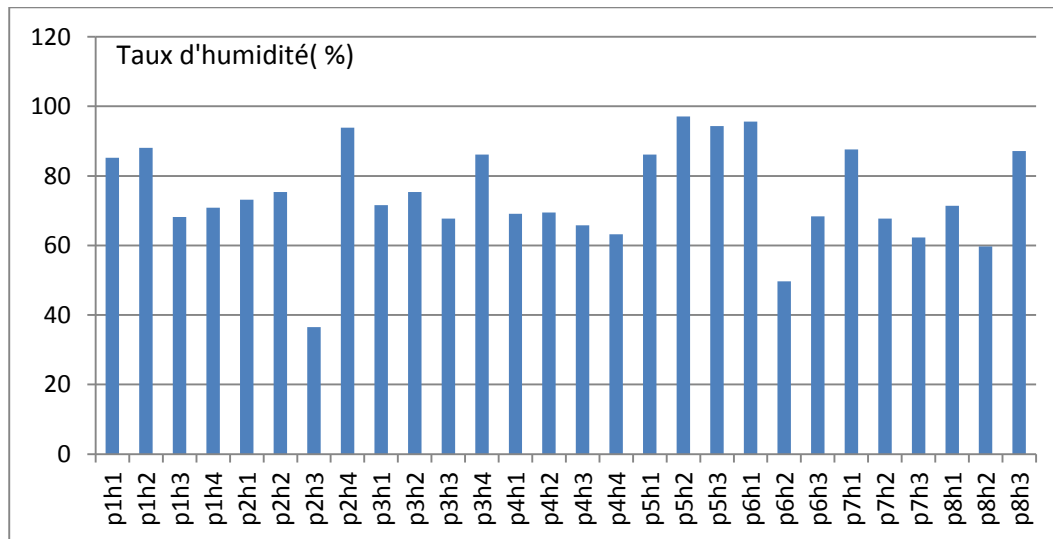


Figure 11: Représentation graphique de l’humidité à saturation des échantillons de sol

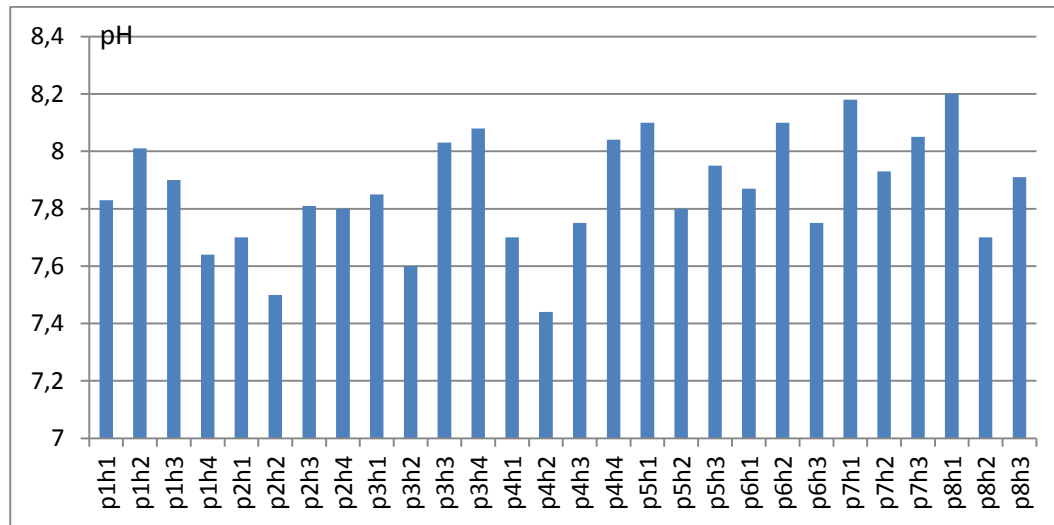
Les résultats de l'analyse montrent que les valeurs de l'humidité à saturation sont très élevées

La plupart des échantillons présentent un taux d'humidité à saturation qui est supérieur à 60%.

Ce résultat indique peut être un taux élevé en argile, les argiles sont d'une taille inférieure à 2µm. En granulométrie, plus la taille de la particule est petite plus la microporosité est importante, cette partie de la porosité est celle qui retiens le plus

d'eau dans le sol contrairement à la macroporosité. A l'état de saturation les argiles sont capables de retenir deux fois leur poids en eau (HENIN, 1976)

## 1.2. Le pH



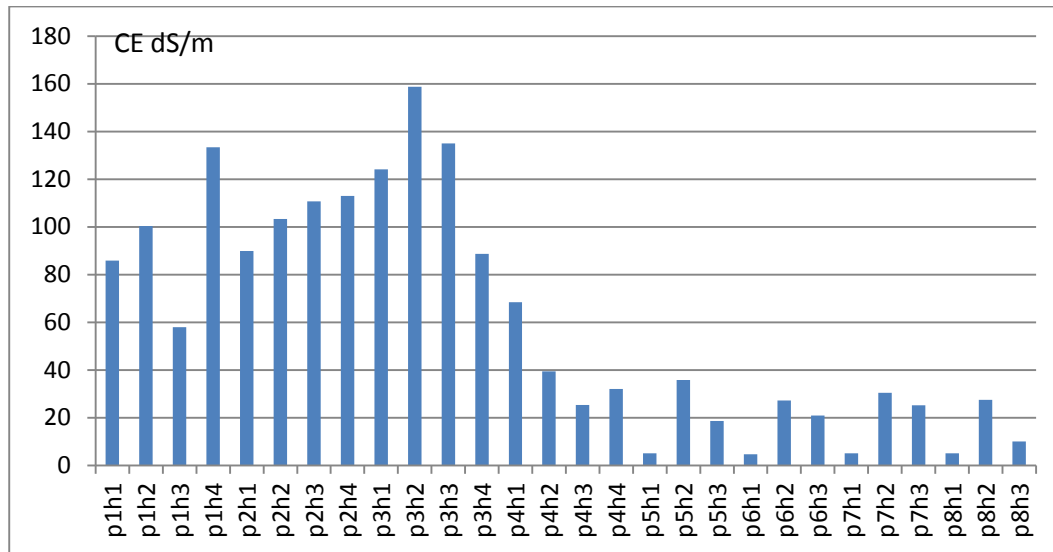
**Figure 12:** Représentation graphique des pH des échantillons de sol

La mesure du pH a été effectuée sur l'extrait de pâte saturée (la solution du sol).

Les résultats de l'analyse montrent que les valeurs du PH sont comprises entre 7.44 et 8.20 ce qui montre qu'on est en présence d'un sol neutre à moyennement alcalin (DURANT, 1983), ce résultat coïncide avec le taux assez élevé de carbonates de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) dans ces sols ( $\text{KPS calcite} = 10^{-8.37}$ ).

Les valeurs du pH sont relativement identiques pour tous les échantillons, les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour les échantillons P4H2 (7.44), P2H2 (7.5), P3H2 (7.6). Cette baisse des valeurs peut être due à un taux élevé soit en gypse ( $\text{KPS} = 10^{-4.85}$ ) soit en matière organique (libération des acides organiques).

### 1.3. La conductivité électrique



**Figure 13:** Représentation graphique de la conductivité électrique des échantillons de sol

La conductivité électrique a été mesurée sur l'extrait de pâte saturée (solution du sol). Les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre 4.71dS/m et 158.69 dS/m. D'après (USSSL, 1954), les échantillons P5H1, P6H1, P7H1, P8H1, avec des CE de (4.99, 4.71, 5.08, 5.04) respectivement, présentent des CE entre 4 et 8 dS/m et sont donc salin, l'échantillon P8H3 présente une CE de 9.99 dS/m (entre 8 et 16 dS/m) et est donc très salin, le reste des échantillons présentent des CE qui sont supérieures à 16 dS/m et sont donc extrêmement salin.

D'après la figure on peut départager les échantillons en deux groupes, le premier groupe du P1H1 jusqu'au P4H1 avec des CE > 70dS/m et le second du P4H2 jusqu'au P8H3 avec des CE < 70 dS/m. On remarque une nette baisse dans la CE, ceci peut être expliqué par la situation géographique du premier groupe qui se situe sur la dépression du chott et qui est dépourvue de végétation (terrain nu), le deuxième groupe est positionné un peu plus en haut sur un léger relief où on a pu remarquer sur le terrain la présence d'une végétation halophite assez dense.

### 1.4. Le calcaire total

Les résultats du calcaire total montrent que les taux de calcaire varient entre 6.02 et 91.27%

Les échantillons peuvent être départagés en quatre tranches :

- La première tranche concerne les horizons avec un taux faible en  $\text{CaCO}_3$  entre

(2 à 10 %). Ces échantillons sont : P1H1, P1H2, P2H1, P2H2 avec des valeurs de (8.34 ,6.02, 9.04, et 7.18 %).

- La deuxième tranche concerne les horizons avec un taux moyen en CaCO<sub>3</sub> (10 à 25 %). Ces échantillons sont P3H1, P3H2, P5H1, P6H1, P7H1, P7H2, P8H1, avec des valeurs de (10.65, 11.35, 20.15, 17.83, 17.36, 14.12) respectivement.

- La troisième tranche concerne les horizons avec un taux fort en CaCO<sub>3</sub> (25 à 50 %). Ces échantillons sont : P1H3, P2H3, P3H4, P4H1, P4H2, P5H2, P8H2, avec des valeurs de (39.61, 47.03, 46.33, 31.73, 48.64, 49.11, 37.98) respectivement.

- La quatrième tranche concerne les horizons avec un taux très fort en CaCO<sub>3</sub> (> 50%). Ces échantillons sont : P1H4, P2H4, P3H3, P4H3, P4H4, P5H3, P6H3, P7H3, P8H3, avec des valeurs de (52.8, 58.14, 68.1, 80.3, 63.47, 83.86, 91.27, 76.44, 80.61) (LOZOT et MATHIEU, 1990).

D'après la figure 14 on peut remarquer que les valeurs les plus élevée en CaCO<sub>3</sub> correspondent aux (P1H4, P2H4, P3H3, P4H3, P4H4, P5H3, P6H3, P7H3, P8H3) qui sont tous des horizons de profondeur, Ces horizons correspondent tous à des horizons d'accumulation de calcaire, ils peuvent être soit des (encroutements calcaire, croutes calcaire, ou dalle calcaire).

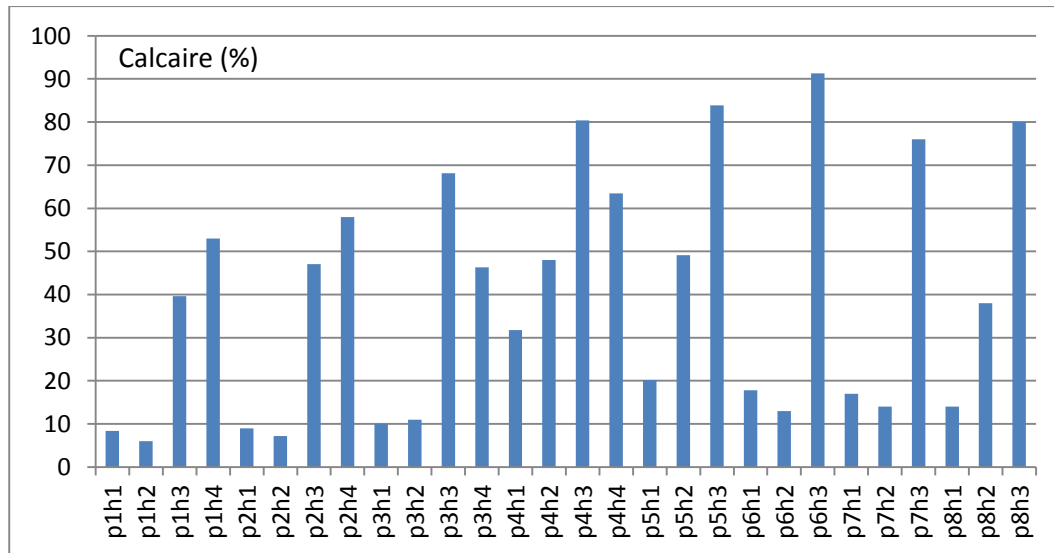
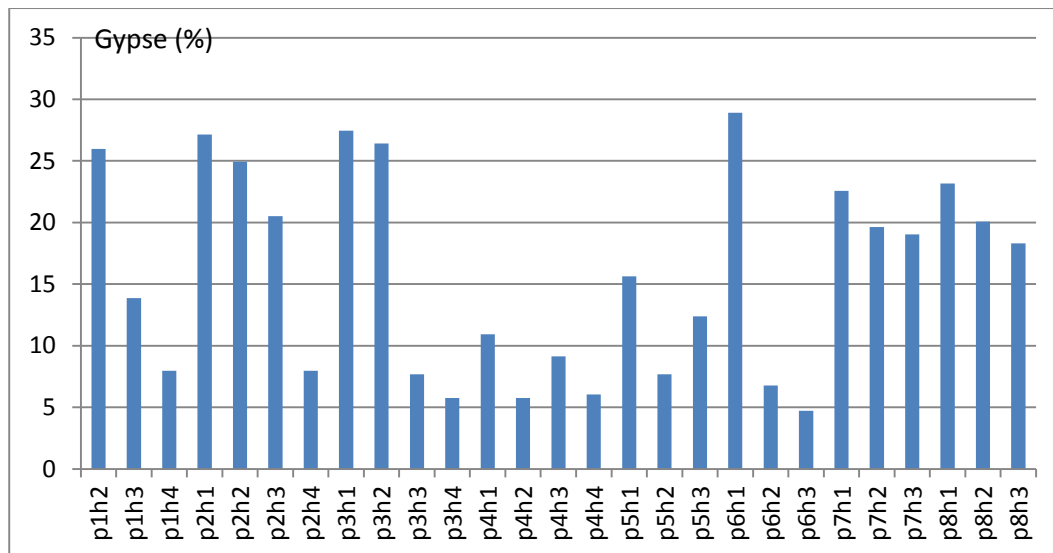


Figure 14: Représentation graphique du calcaire total des échantillons de sol

### 1.5. Le gypse

En se basant sur les normes de (BARZANJI, 1973) et la figure 15, les résultats analytiques des taux de gypse des horizons étudiés peuvent être classés en 3 catégories :

- Première catégorie: horizons légèrement gypseux (0.3 à 10%) ; cette catégorie regroupe les échantillons P1H4, P2H4, P3H3, P3H4, P4H2, P4H3, P4H4, P5H2, P6H2, P6H3. On peut remarquer que ces horizons sont tous des horizons de subsurface ou de profondeur.
- La deuxième catégorie : horizons modérément gypseux (10 à 15%) on trouve dans cette catégorie P1H3, P4H1, P5H3.
- La dernière catégorie : horizons extrêmement gypseux (25 à 50%) elle renferme le P1H2, P2H1, P3H1, P3H2, P6H1.



**Figure 15:** Représentation graphique du pourcentage en gypse des échantillons de sol

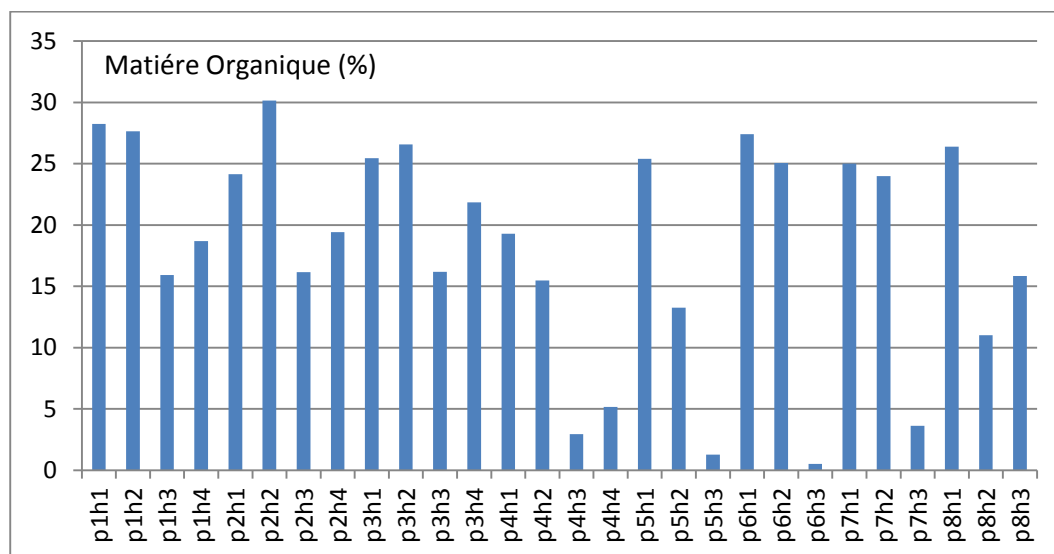
D'après ces résultats il s'avère que les horizons de surface sont les plus gypseux, et les horizons de subsurface et de profondeur sont les moins gypseux, ce comportement d'accumulation de gypse est inverse à celui de l'accumulation du calcaire, ceci peut être dû au produit de solubilité des deux sels. Sachant que la calcite est un minéral qui est moins soluble que le gypse donc il précipite plus rapidement que le gypse (DROUBI, 1976).

### 1.6. La matière organique

L'analyse de la matière organique montre que le taux est très élevé pour la plupart des échantillons, les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour les deux échantillons P5H3 et P6H3 avec des valeurs de 1.27 et 0.51% respectivement (0.5 à 1.5 % sols pauvre en matière organique).

Les échantillons P4H3, P4H4, et P7H3 sont riches en matière organique (2.5 à 6 %) avec des valeurs de 2.95, 5.16 et 3.63.

Les autres 23 horizons sont très riches en matière organique (> 6% de matière organique) (figure 16).



**Figure 16:** Représentation graphique du pourcentage en matière organique des échantillons de sol

Les taux de matière organique des sols de chott El Frain sont relativement élevés en comparaison avec les valeurs moyennes dans la région, sachant que les sebkhas et les chotts sont des terres dépourvues de végétation ou présentent un faible couvert végétal constitué essentiellement de végétation halophyte. La principale source de matière organique dans ce genre de milieu provient des apports extérieurs provenant de la décharge publique qui se situe à la proximité de la zone d'étude ainsi qu'au déversement des eaux usées de la région dans le chott.

### 1.7. Les anions

Les résultats analytiques du dosage des anions solubles sont rappelés dans le tableau XI.

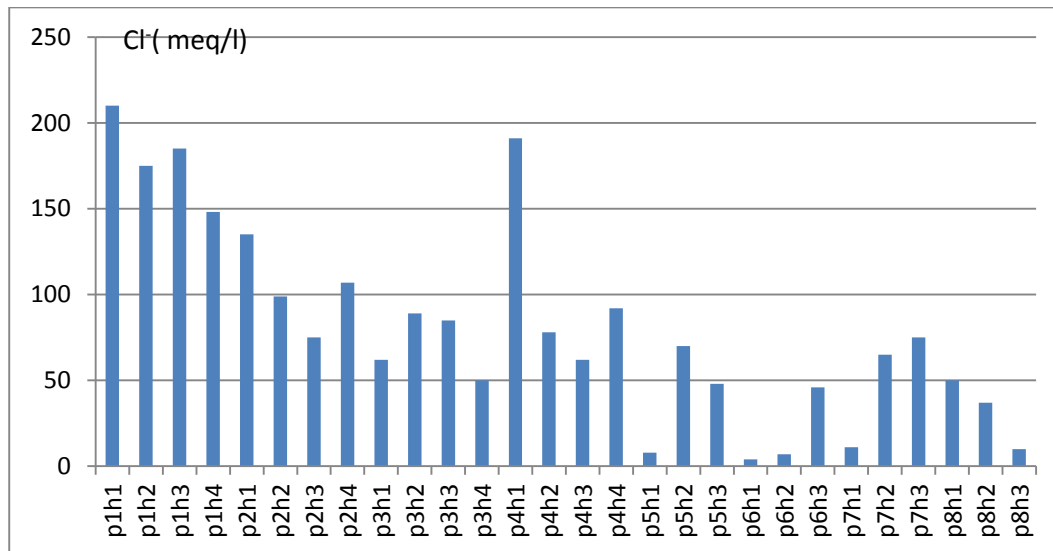
**Tableau XI :** Tableau qui montre les résultats de la concentration en anions de la solution du sol

Echantillons	Cl <sup>-</sup> (méq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (méq/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (méq/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (méq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (méq/l)	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (méq/l)	BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (méq/l)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (méq/l)
P1H1	210	23,96	0,209	9,098	0,4	4,495	0,04	00
P1H2	175	24,6	0,206	26,876	0,7	6,705	0,028	00
P1H3	185	22,9	0,386	53,333	0,7	11,477	0,052	00
P1H4	148,1	26,2	0,162	6,989	0,5	3,742	0,072	00
P2H1	135	23,96	0,332	21,997	0,5	64,724	0,1	00
P2H2	99	24,6	0,223	11,143	0,4	3,572	0,04	00
P2H3	75	20,96	0,233	8,535	0,4	7,073	0,052	00
P2H4	107	25,34	0,186	8,196	0,5	4,099	0,04	00
P3H1	62	24,6	0,32	11,755	0,6	8,729	0,08	00
P3H2	89	25,7	0,191	6,973	0,5	4,927	0,048	00
P3H3	85	25,34	0,145	6,860	0,6	3,516	0,028	00
P3H4	50	24,6	0,134	5,749	0,7	4,118	0,08	00
P4H1	191	22,9	0,792	3,022	0,7	16,051	0,12	00
P4H2	78	21,64	0,239	9,388	0,7	6,019	0,116	00
P4H3	62	17,83	0,191	7,681	0,7	2,838	0,02	00
P4H4	92	18,69	0,197	5,861	0,7	3,760	0,004	00
P5H1	8	14,98	0,328	47,407	0,7	3,967	0,12	00
P5H2	70	12,74	0,395	4,219	0,6	8,955	0,096	00
P5H3	48	18,95	0,201	6,940	0,7	1,581	0,048	00
P6H1	4	15,38	1,118	51,369	0,7	23,674	0,044	00
P6H2	7	22,38	1,082	8,357	0,7	5,116	0,08	00
P6H3	46	17,58	0,965	10,016	0,7	3,647	0,028	00
P7H1	11	18,45	0,304	47,407	0,8	0,802	0,12	00
P7H2	65	23,24	0,212	16,167	0,8	0,41	0,096	00
P7H3	75	21,16	0,973	5,137	0,8	0,406	0,076	00

P8H1	50	18,45	2,439	49,758	0,8	0,971	0,136	00
P8H2	37	24,75	2,853	5,056	0,6	1,483	0,04	00
P8H3	10	14,91	0,814	7,407	0,6	0,459	0,04	00

**1.7.1. Les chlorure**

Le chlore est l'anion le plus dominant dans la solution du sol sa part varie de 4.1% à 84.61% dans la solution du sol, sa concentration est comprise entre 4 méq/l et 210 méq/l (figure 16). Sa concentration dans la solution du sol traduit un état de salinité, le chlore présente un caractère conservatif dans la solution du sol ; il ne participe ni à des réactions de précipitations ni à des réactions d'échanges ioniques (CHERNET et al., 2001).



**Figure 17:** Représentation graphique de la concentration en chlorure des échantillons de sol

D'après la figure il s'aperçoit que plus on se s'approche du centre du chott plus la concentration en chlorure augmente ce qui suit le gradient de salinité, à l'exception de l'échantillon P4H1 qui présente une concentration très élevée en chlorure ceci peut être dû à une erreur de manipulation ou d'un apport extérieur, sachant que sa conductivité électrique est de 68.37dS/m.

Selon (ANRH in BEDDIAF, 2014). La norme de toxicité en chlorure est de 200 mg/l, (5.6 méq /l). Les résultats analytiques et la figure 17 montrent que tous les échantillons sont supérieurs aux normes.



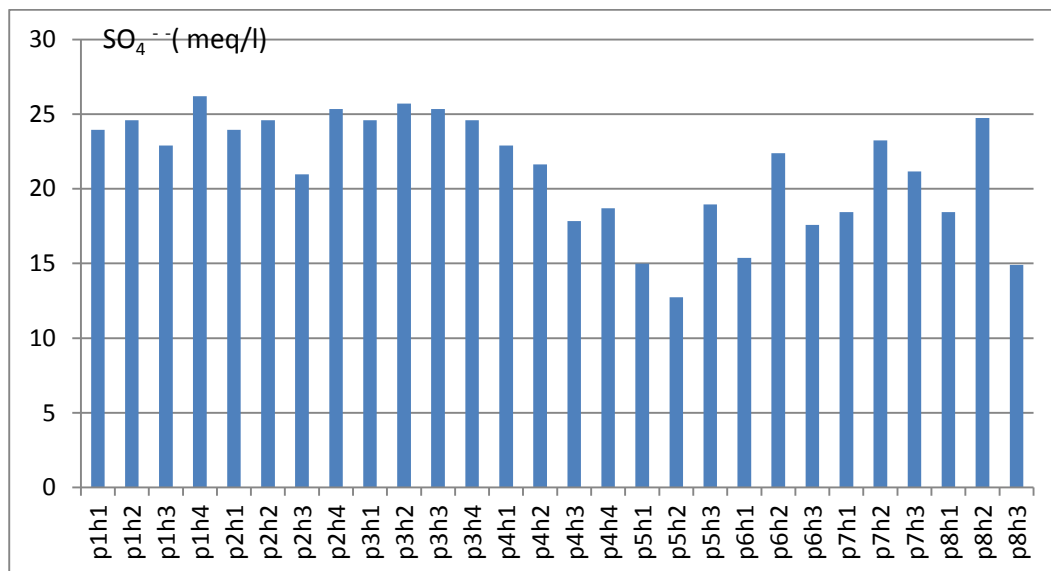
### 1.7.2. Les sulfate

Les concentrations en sulfates dans la solution du sol varient de 12.74 méq/l à 26.2 méq /l (figure 17), les sulfates varient de 9.65% à 43.56% de l'ensemble des anions.

Le rapport entre Cl/SO<sub>4</sub> est > 1 pour tous les échantillons à l'exceptions des échantillons P5H1, P6H1, P6H2, P7H1, P8H3, ou le rapport Cl/SO<sub>4</sub> < 1, ceci montre que le facies géochimique dominant est de type chloruré (**LOYER, 1991**).

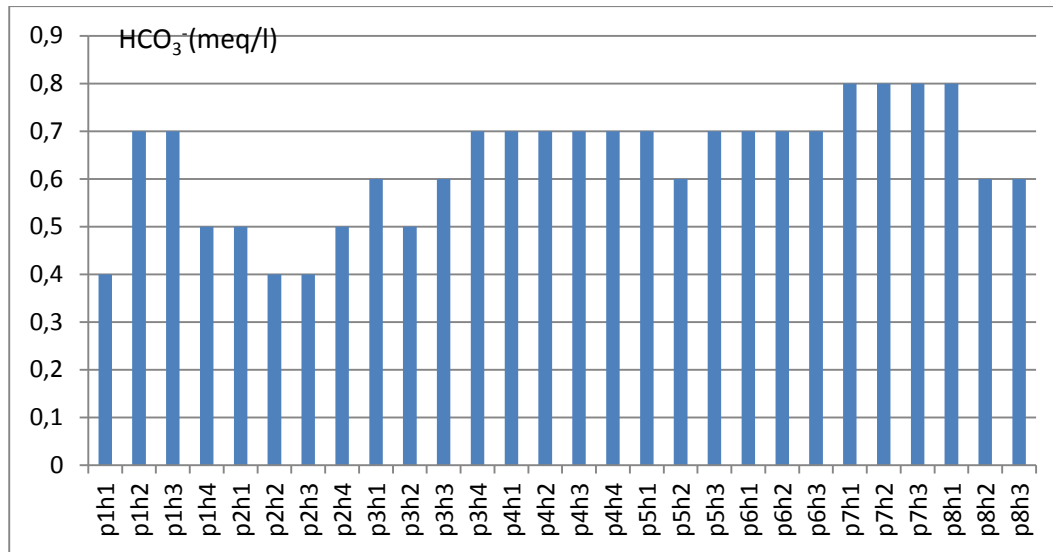
La variation des sulfates en fonction de la conductivité électrique montre qu'il y a une corrélation forte entre les deux paramètres le coefficient de corrélation  $r = 0.76$  (matrice de corrélation).

Le SO<sub>4</sub><sup>-</sup> est un anion qui est contrôlé dans la solution su sol par la précipitation ou la dissolution des minéraux sulfatés principalement le gypse (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), sa concentration dans la solution du sol dépend fortement de ce minéral (**DROUBI, 1976**).



**Figure 18:** Représentation graphique de la concentration en sulfate des échantillons de sol

### 1.7.3. Les bicarbonates



**Figure 19:** Représentation graphique de la concentration en bicarbonates des échantillons de sol

Les concentrations en bicarbonate dans la solution du sol varient de 0.4 méq/l à 0.8 méq/l, les bicarbonates varient de 0.1% à 1.7% de l'ensemble des anions.

La concentration en carbonate est nulle pour tous les échantillons de sol.

Les sols de chott el frain évoluent dans la voie saline neutre de salinisation, la concentration en bicarbonate varie très peu dans la solution du sol.

Les bicarbonates sont contrôlés dans la solution du sol soit par la précipitation dissolution de la calcite :



Soit par la libération des acides organique qui proviennent de la dégradation de la matière organique.

### 1.7.4. Les nitrate

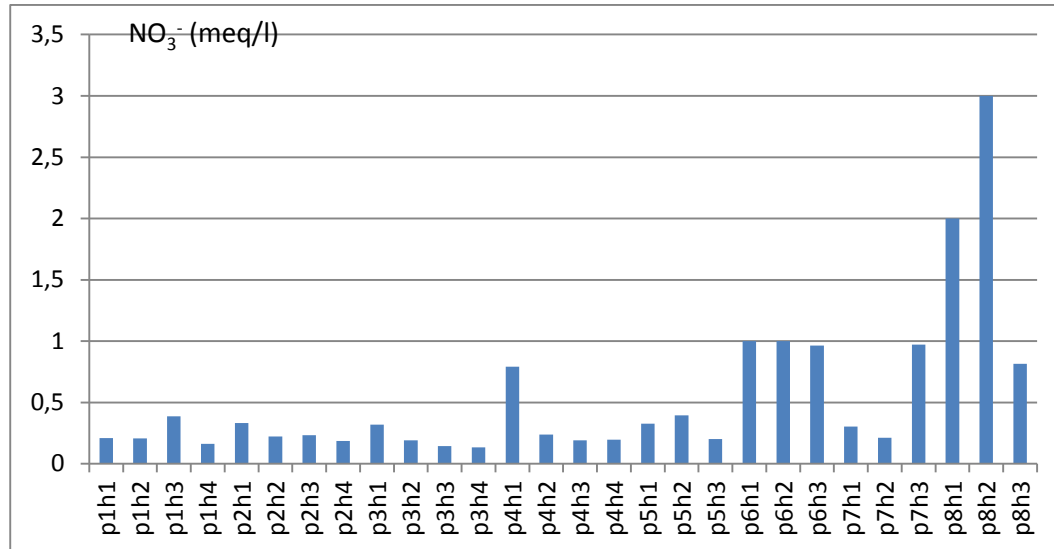
Les concentrations en nitrates dans la solution du sol varient de 0.162méq/l à 2.85 méq/l, les nitrates représentent une part très faible dans la solution du sol, ils varient de 0.08% à 3.9 % de l'ensemble des anions.

Selon les normes algériennes NA 63 60-1992 la norme de toxicité en nitrates dans l'eau est de 50 mg/l, ce qui correspond à 0.8 méq/l (**ANRH in BEDDIAF, 2014**).

Les résultats analytiques et la figure 20 montrent que le : P6H1, P6H2, P6H3, P7H3, P8H1, P8H2, P8H3 avec des valeurs de (1.1, 1.08, 0.9, 0.96, 2.4, 2.8, 0.814 méq/l) sont supérieures aux normes. Tous ces échantillons sont situés à la périphérie du

chott, ces taux élevés peuvent être dus à des apports par des fertilisants azotés, sachant que la topographie est limitrophe du côté Est d'un champ de culture.

Les 21 autres échantillons sont inférieures à la limite du danger de toxicité.



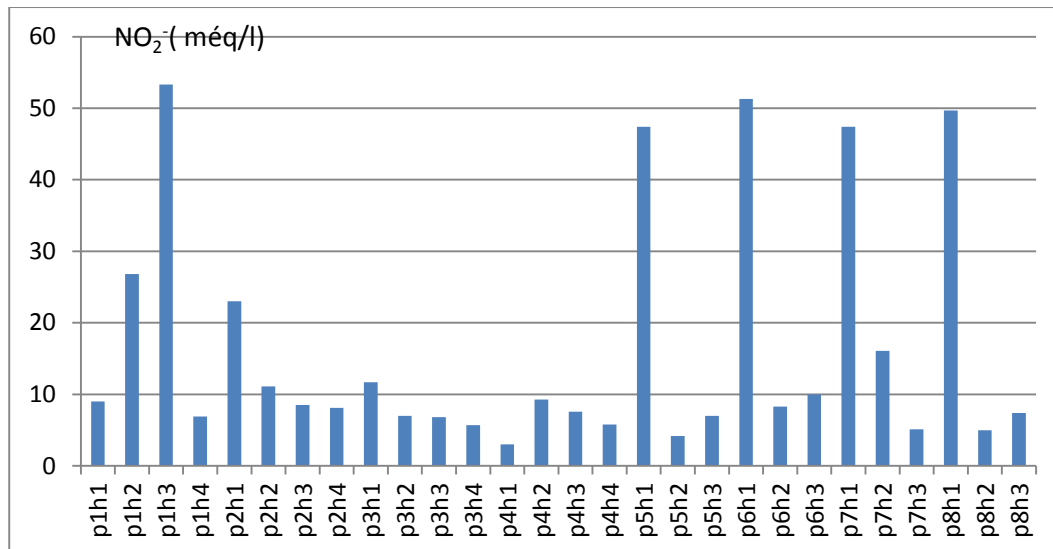
**Figure 20:** Représentation graphique de la concentration en nitrate des échantillons de sol

### 1.7.5. Les nitrites

Les concentrations en nitrites dans la solution du sol varient de 3.022 méq/l à 53.33 méq/l. La part des nitrites dans la solution du sol varie de 1.2 % à 62.8 % de l'ensemble des anions (figure 21).

En comparant les concentrations en nitrites avec les normes algériennes NA 63 60-1992, stipulant que la norme de toxicité en nitrite est de 0.1 mg/l, correspondant à 0.002 meq/l (ANRH in BEDDIAF, 2014) la concentration en nitrites de tous les échantillons dépasse la limite du danger de toxicité.

La concentration en nitrite est assez importante en comparaison avec celle des nitrates dans la solution du sol, les teneurs assez élevées en nitrite peuvent être expliquées par le fait que les nitrites proviendraient soit de l'oxydation incomplète de l'ammonium soit d'une réduction des nitrates qui sont d'origine agricole sous l'influence des bactéries dénitrifiantes (SARKAR et al., 2007).



**Figure 21:** Représentation graphique de la concentration en nitrite des échantillons de sol

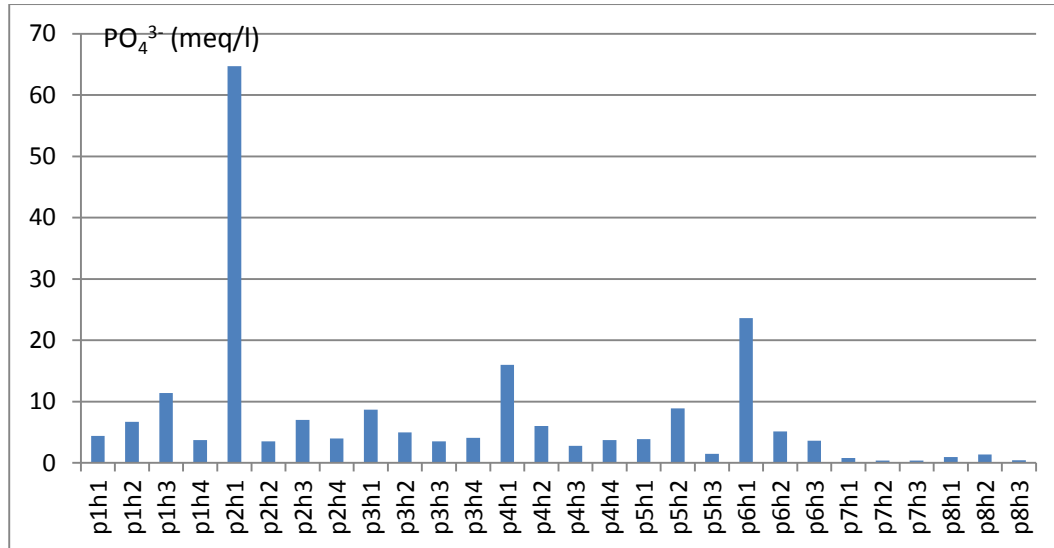
#### 1.7.6. Les orthophosphates

Les concentrations en orthophosphate dans la solution du sol varient de 0.40 méq/l à 64.7méq /l (figure 22). La part des orthophosphate dans la solution du sol varie de 0.38% à 26.04% de l'ensemble des anions.

Selon les normes algériennes NA 63 60-1992 la norme d'orthophosphate est 0.5 mg/l (0.002 méq/l) (ANRH in BEDDIAF, 2014)

En remarque que tous les échantillons ont dépassé les normes de toxicité.

On peut remarquer des concentrations importantes en orthophosphates dans les échantillons P2H1, P4H1, P6H1 avec des valeurs de 64.7, 16.05 et 23.6 meq/l respectivement. Les trois échantillons correspondent à des horizons de surface ce qui suppose que la source des orthophosphates est extérieure.

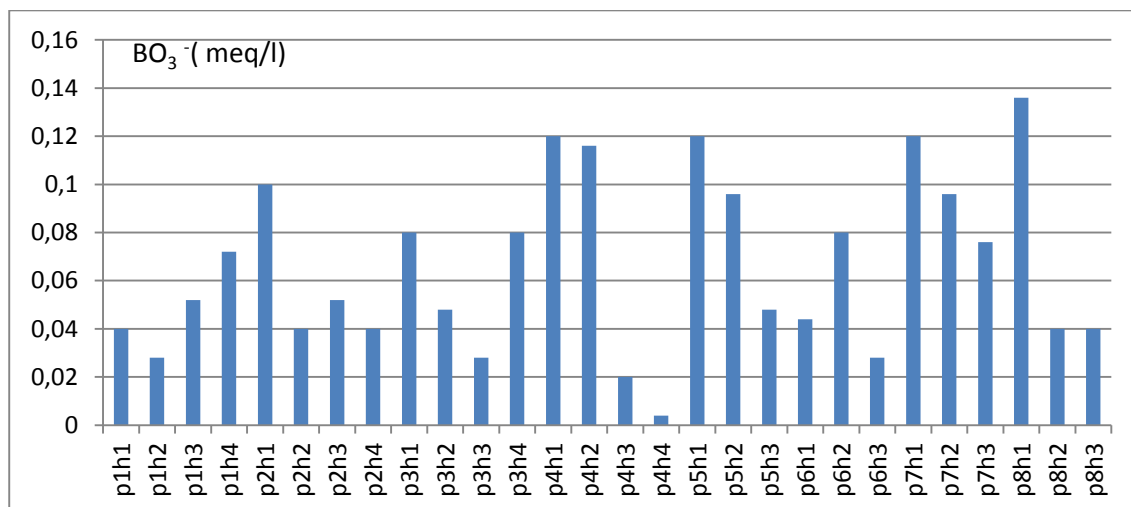


**Figure 22:** Représentation graphique de la concentration en orthophosphates des échantillons de sol

**1.7.7. Le borate**

Les concentrations en borates dans la solution du sol varient de 0.004 méq/l à 0.136 méq /l. Les borates varient de 0.01% à 0.1% de l'ensemble des anions, sa part dans la solution du sol est très faible pour tous les horizons en comparaison avec les autres anions.

Les concentrations en borates des échantillons P1H1, P1H2, P2H2, P2H4, P3H3 P4H3, P4H4, P5H3 P6H1, P6H3, P8H2, P8H3 est inférieures a la limite du danger et les autres 16 échantillons sont Supérieures à la limite du danger de toxicité pour les plantes fixée à 1.5mg/l (0.05méq/l) (USSSL, 1954).



**Figure 23:** Représentation graphique de la concentration en borate des échantillons de sol

## 1.8. Profils de distribution des anions en fonction de la profondeur

### 1.8.1. Profil N° 1

D'après la (figure24), Le profile de distribution des chlorure est de type descendant mais, on peut remarquer que les variations en chlorure sont assez stable tout au long du profil, elles varient très peu en fonction de la profondeur.

Le profil de distribution des sulfates est de type ascendant mais avec une légère baisse de la concentration en sulfate entre l'horizon 2 et 3 (58 – 96 cm).

Le profil de distribution des bicarbonates est de type descendant, on peut noter une augmentation de la concentration en  $\text{HCO}_3^-$  et qui reste assez stable entre l'horizon 3 et l'horizon 4.

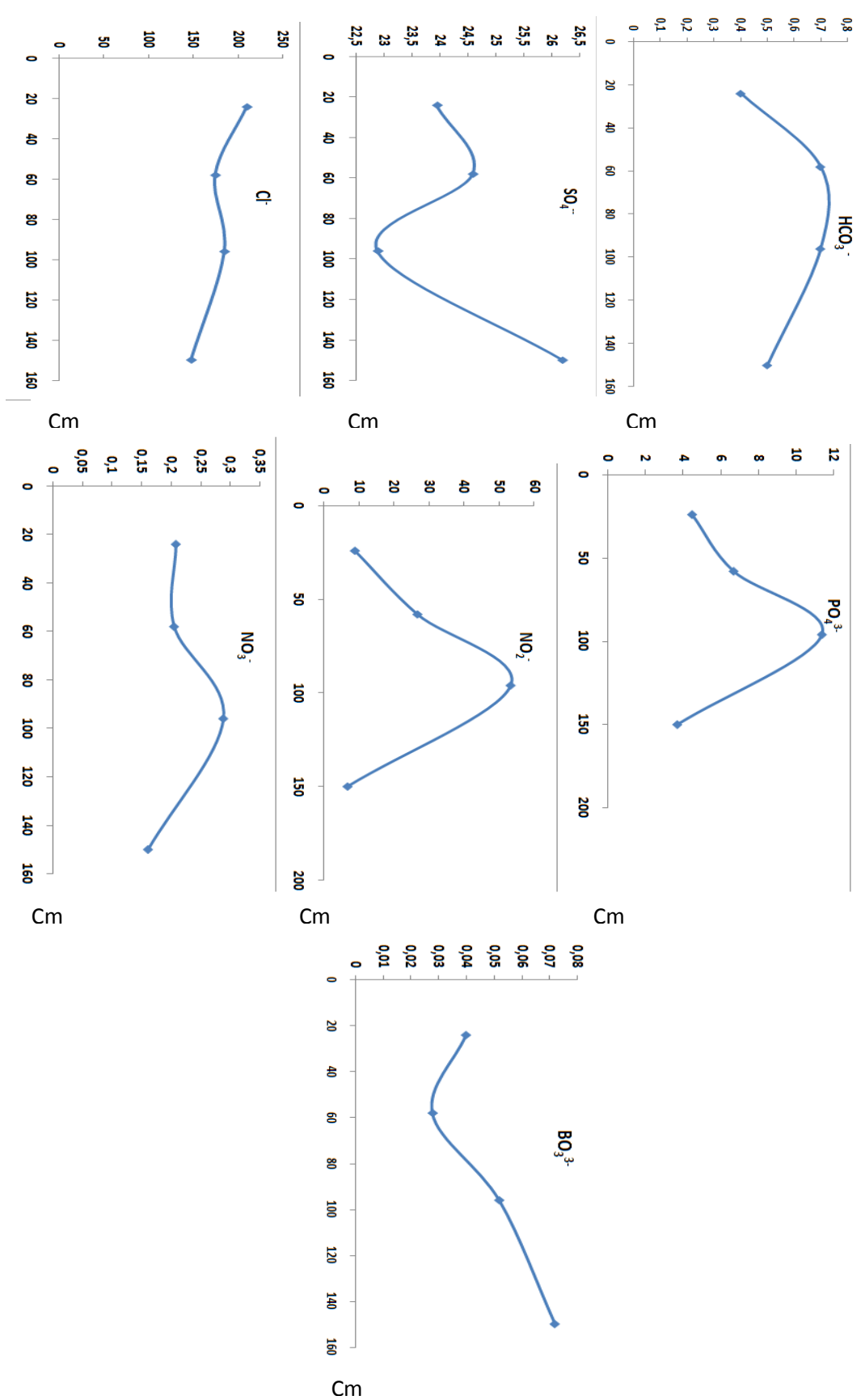
Le profil de distribution des nitrates est légèrement descendant, la distribution est assez stable en surface, il y a une légère augmentation en nitrates entre l'horizon 2 et 3 correspondant à des profondeurs de (58 a 96 cm).

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant mais on note une nette augmentation dans la concentration des nitrites au niveau des second et troisième horizons (58 et 96 cm), ceci peut être du à un niveau d'accumulation en nitrites.

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant, il s'avère une nette concentration des phosphates dans la solution du sol qui arrive jusqu'à 12méq/l entre les horizons 2 et 3 (58 à 96 cm).

Le profil de distribution des borates en fonction de la profondeur et de type ascendant avec une baisse de la concentration au niveau de l'horizon n° 2 (24 et 58 cm)

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 01 montre que les anions dont le profil est descendant sont :  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{BO}_3^-$  et ceux dont le profil est ascendant sont :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .



**Figure 24 :** Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 01

### 1.8.2. Profil N° 2

D'après la (figure25), Le profil de distribution des chlorure est de type ascendant mais avec une nette baisse de la concentration en chlorure entre l'horizon 1 et 3 (18–91cm).

Le profil de distribution des sulfates est de type ascendant avec une légère baisse de la concentration en sulfate entre l'horizon 2 et 3 (46 – 91 cm).

Le profil de distribution des bicarbonates est de type ascendant, mais avec une légère baisse de la concentration en bicarbonate entre l'horizon 1 et 2 (18-46 cm).

Le profil de distribution des nitrates est légèrement descendant, on remarque une légère augmentation en nitrates au niveau de l'horizon n° 3.

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant.

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant mais on remarque une légère augmentation en orthophosphate au niveau de l'horizon n° 3.

Le profil de distribution des borates est de type descendant, on remarque une légère augmentation en borates entre l'horizon 2 et 3 correspondant à des profondeurs de (46 - 91 cm).

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 02 montre que les anions dont le profil est descendant sont :  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{BO}_3^-$  et ceux dont le profil est les ascendant sont :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .



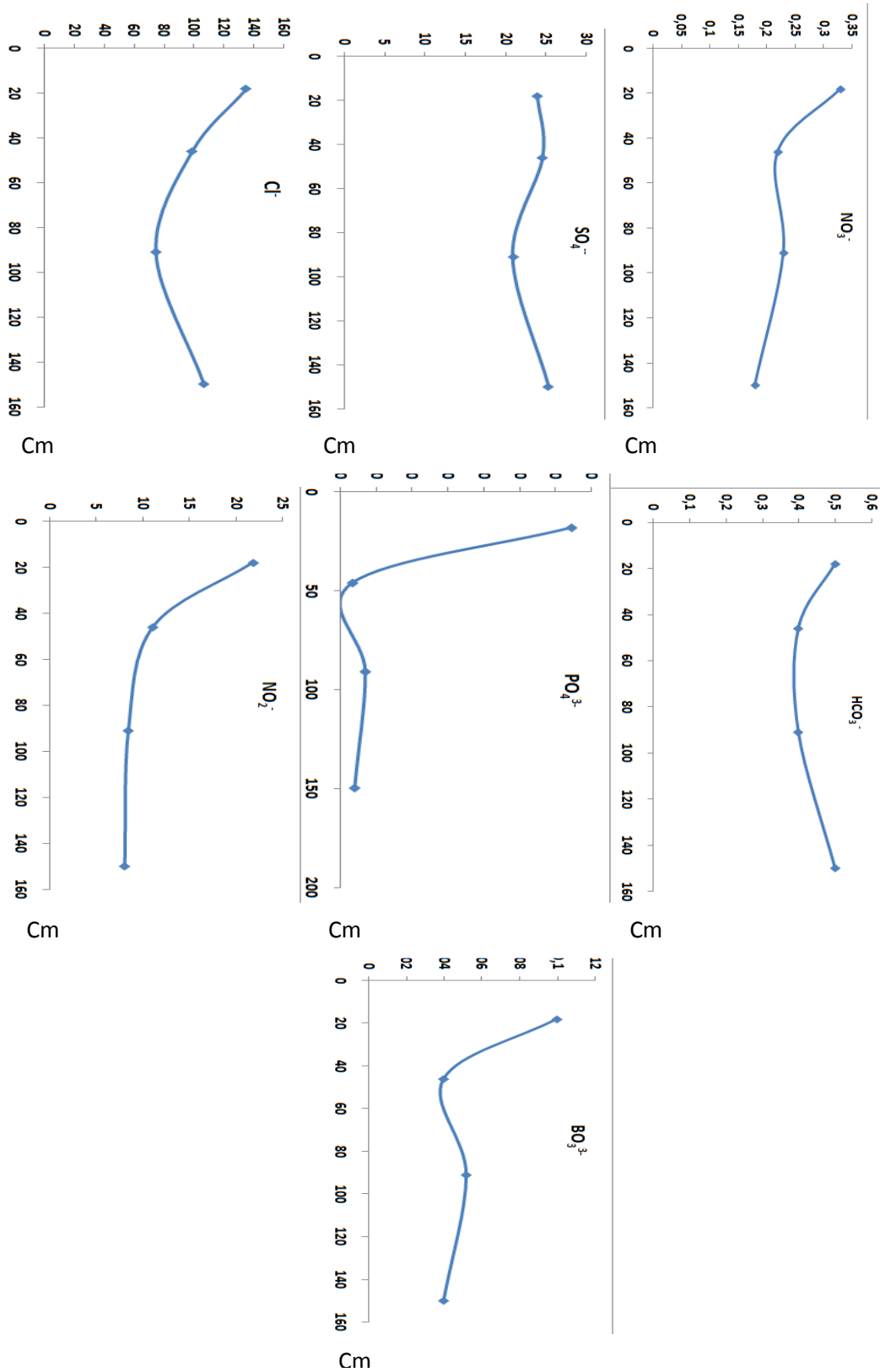


Figure 25: Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 02

### 1.8.3. Profil N° 3

D'après la (figure26), Le profil de distribution des chlorures est de type descendant, on peut noter une augmentation de la concentration en  $\text{Cl}^-$  et qui reste assez stable entre l'horizon 2 et l'horizon 3.

Le profil de distribution des sulfates est de type descendant, il s'avère une nette concentration des sulfates dans la solution du sol qui arrive jusqu'à 25.6 méq/l au niveau de l'horizon 2 (15-39cm).

Le profil de distribution des bicarbonates est de type ascendant, on remarque une légère baisse de la concentration des bicarbonates entre l'horizon 1 et 2 correspondant à des profondeurs de (15 - 39 cm).

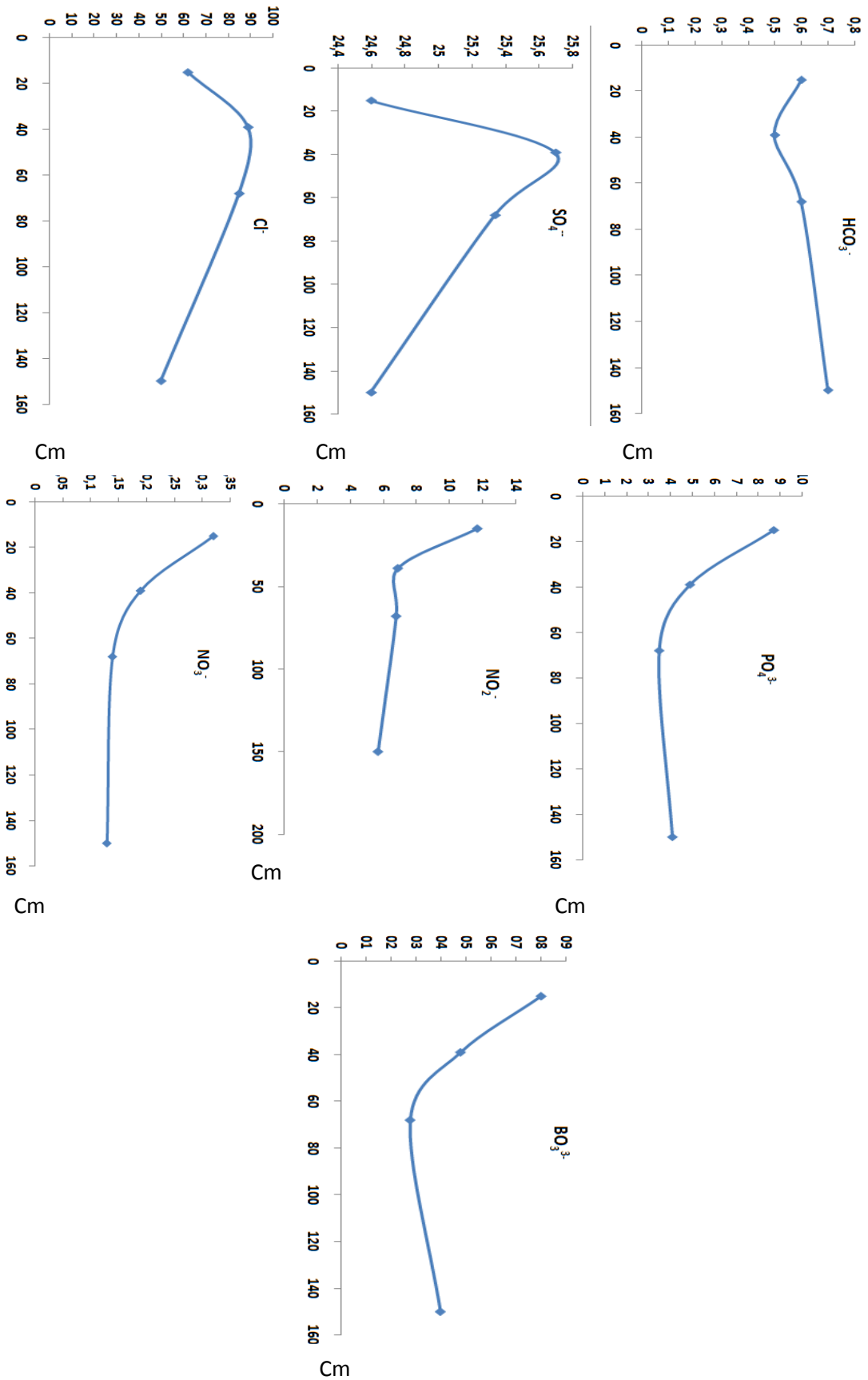
Le profil de distribution des nitrates est de type descendant.

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant, mais avec une légère augmentation de la concentration au niveau de l'horizon 3.

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant mais on remarque une légère augmentation en orthophosphate au niveau de l'horizon n°4 (68 -150 cm).

Le profil de distribution des borates est de type descendant, on remarque une légère augmentation en borates entre l'horizon 3 et 4 (68 - 150 cm).

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 03 montre que les anions dont le profil est descendant sont :  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{BO}_3^-$  et celui dont le profil est les ascendant est :  $\text{HCO}_3^-$ .



**Figure 26:** Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 03

#### 1.8.4. Profil N° 4

D'après la (figure27), Le profil de distribution des chlorures est de type descendant, on peut noter une légère augmentation de la concentration en  $\text{Cl}^-$  au niveau de l'horizon 4 (111-150cm).

Le profil de distribution des sulfates est de type descendant mais on peut noter que les variations en sulfates sont assez stable tout au long du profil, elles varient très peu en fonction de la profondeur.

Le profil de distribution des bicarbonates ne montre aucun changement (stable entre les différents horizons)

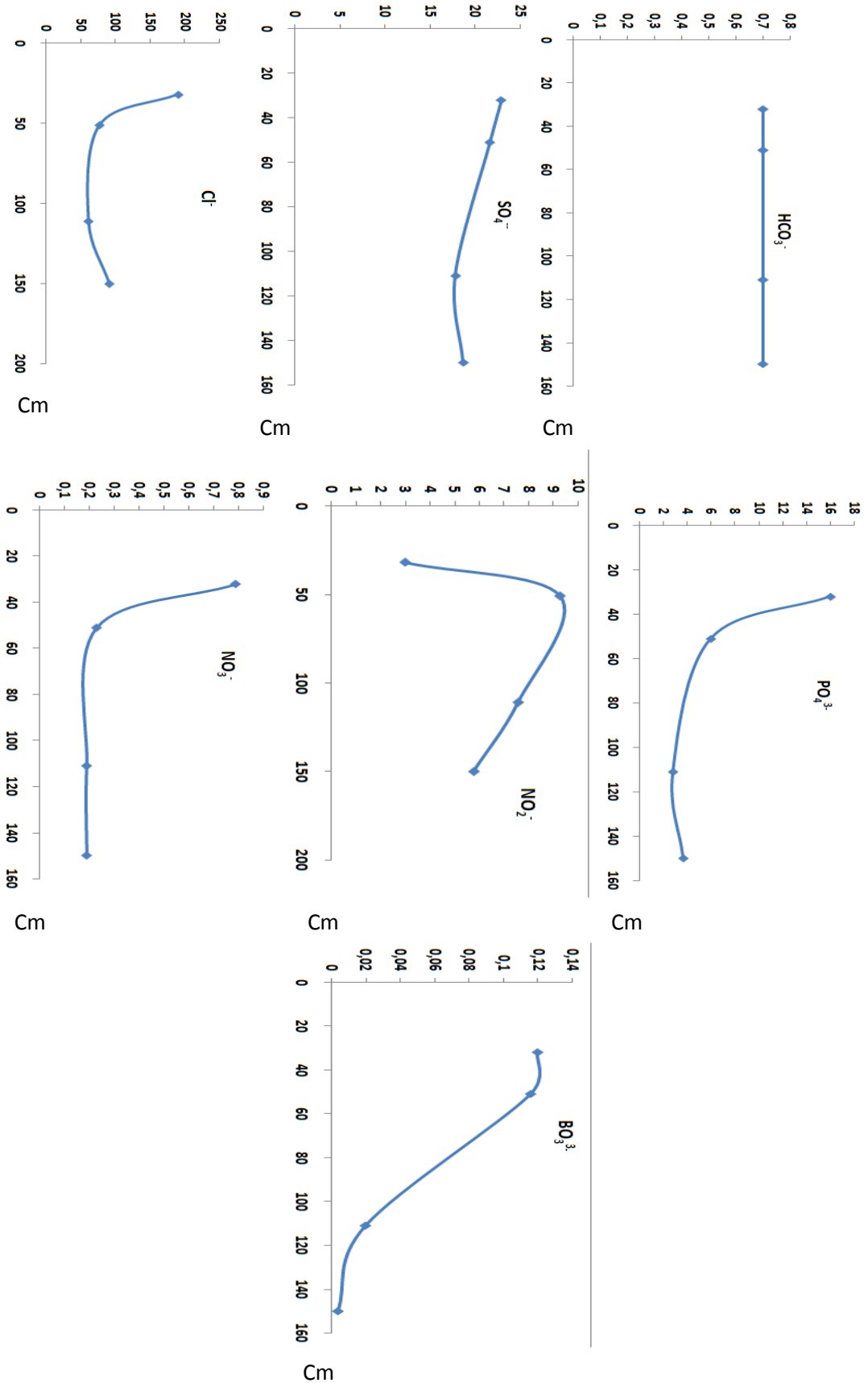
Le profil de distribution des nitrates est de type descendant.

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant, mais on remarque une nette augmentation de la concentration des nitrites dans la solution du sol qui arrive jusqu'à 9 méq/l au niveau de l'horizon 2 (32-51cm).

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant mais on remarque une légère augmentation en orthophosphate au niveau de l'horizon n°4 (111 -150 cm).

Le profil de distribution des borates en fonction de la profondeur est de type descendant.

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 04 montre que tous les anions présentent un comportement descendant.



**Figure 27:** Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 04

### 1.8.5. Profil N° 5

D'après la (figure28), Le profil de distribution des chlorure est de type ascendant mais avec une nette baisse de la concentration en chlorure au niveau de l'horizon 3(134–150cm).

Le profil de distribution des sulfates est de type ascendant mais avec une légère baisse de la concentration en sulfate au niveau de l'horizon 2 (48 – 134 cm).

Le profil de distribution des bicarbonates est de type ascendant, on remarque une nette baisse de la concentration de bicarbonate au niveau de l'horizon 2 (48-134cm).

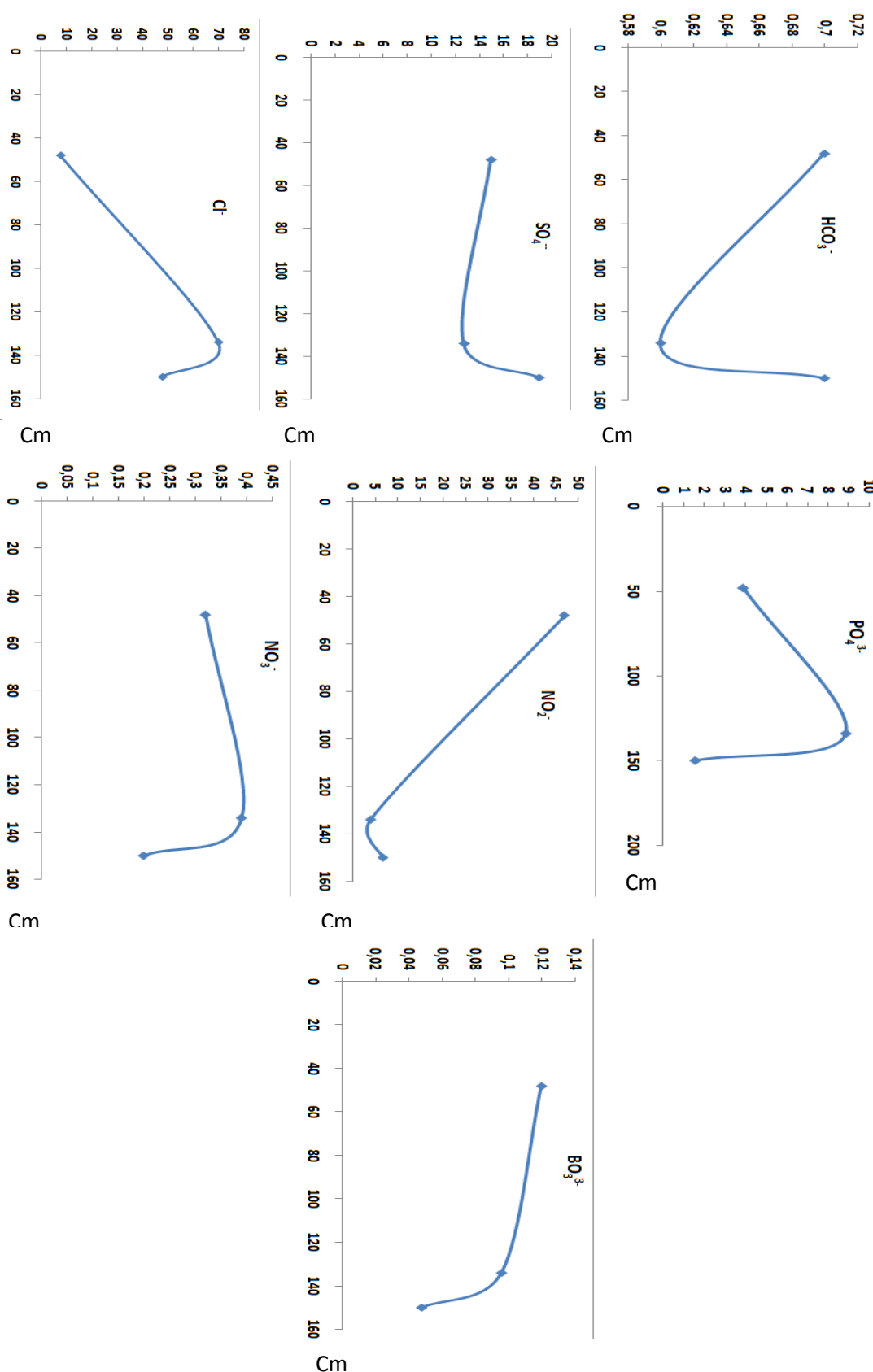
Le profil de distribution des nitrates est légèrement descendant, avec une légère augmentation en nitrates au niveau de l'horizon n° 2 (48 -134cm).

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant, mais on remarque une légère augmentation de la concentration au niveau de l'horizon 3(134-150cm).

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant, mais on remarque une nette augmentation de la concentration des orthophosphates dans la solution du sol qui arrive jusqu'à 9 méq/l au niveau de l'horizon 2 (48-134cm).

Le profil de distribution des borates en fonction de la profondeur est de type descendant.

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 05 montre que les anions dont le profil est descendant sont :  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{BO}_3^-$  et ceux dont le profil est les ascendant sont :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .



**Figure 28:** Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 05

### 1.8.6. Profil N° 6

D'après la (figure29), Le profil de distribution des chlorures est de type ascendant.

Le profil de distribution des sulfates ne présente aucun changement.

On ne note aucun changement dans la distribution des bicarbonates tout au long du profil.

Le profil de distribution des nitrates est légèrement descendant.

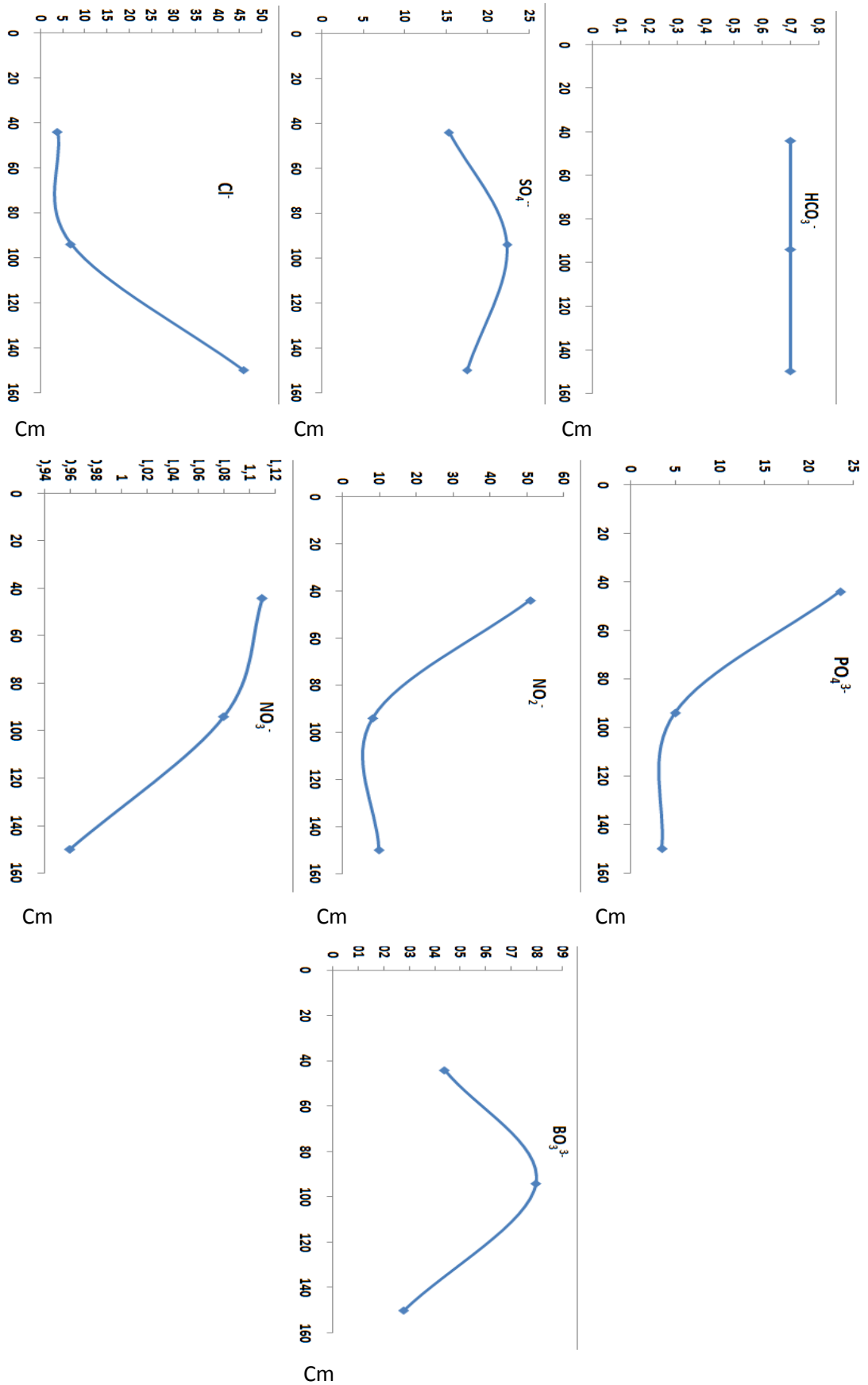
Le profile de distribution des nitrites est de type descendant, mais on remarque une légère augmentation de la concentration au niveau de l'horizon 3(94-150cm).

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant.

Le profil de distribution des borates en fonction de profondeur est de type descendant, on peut noter une augmentation de la concentration de  $\text{BO}_3^-$  au niveau de l'horizon 2 (44-94cm).

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 06 montre que les anions dont le profil est descendant sont :  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{BO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , seul le  $\text{Cl}^-$  présente un comportement ascendant.





**Figure 29:** Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 06

**1.8.7. Profil N° 7**

D'après la (figure 30), Le profil de distribution des chlorures est de type ascendant.

Le profil de distribution des sulfates est de type ascendant mais avec une légère baisse de la concentration en sulfate au niveau de l'horizon 3 (98 – 150 cm).

Le profil de distribution des bicarbonates est stable sur tout le profil.

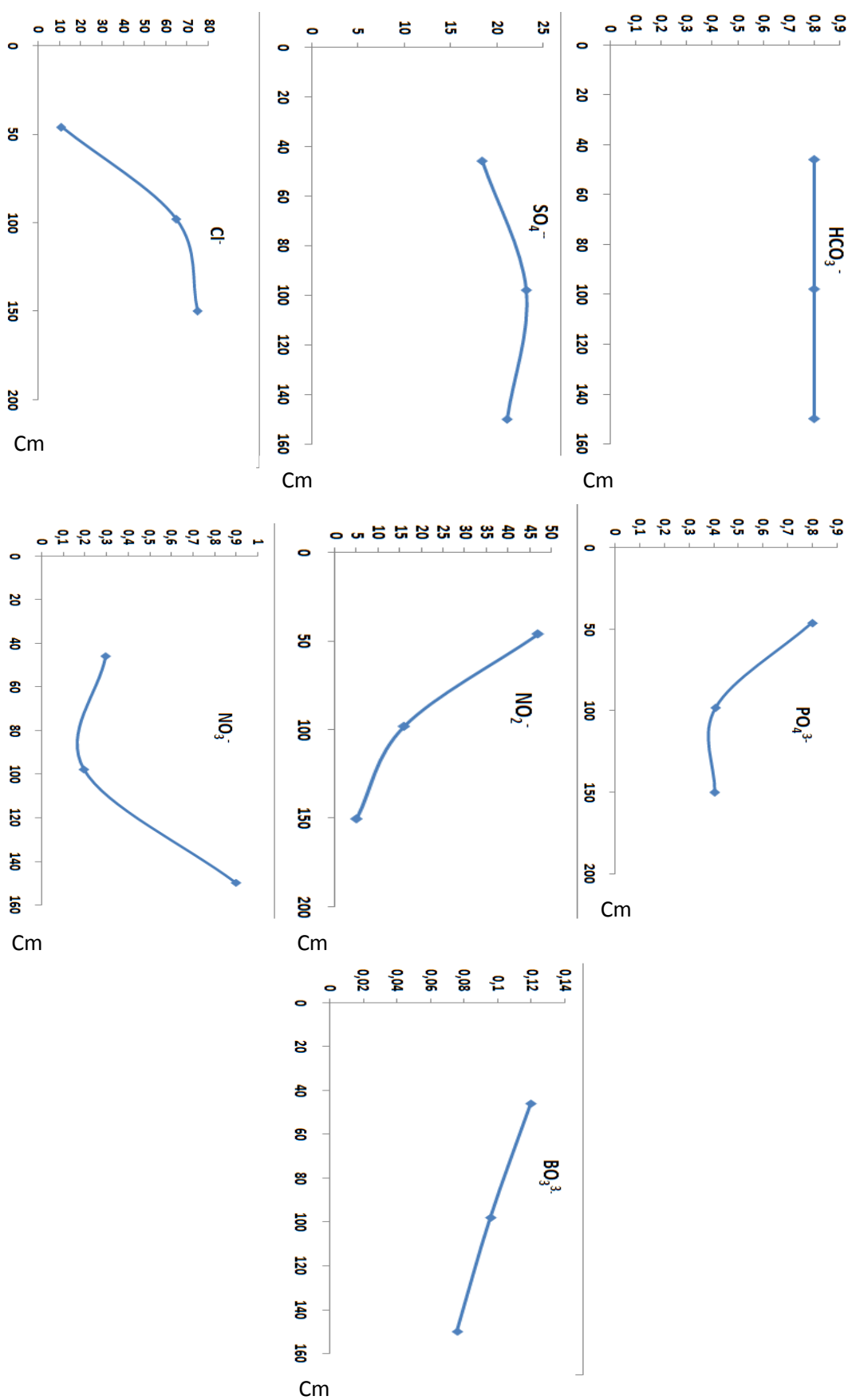
Le profil de distribution des nitrates est de type ascendant avec une légère baisse de la concentration en nitrate au niveau de l'horizon 2 (46-98cm).

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant.

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant.

Le profil de distribution des borates est légèrement descendant.

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 07 montre que les anions dont le profil est descendant sont :  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{BO}_3^-$  et ceux dont le profil est les ascendant sont :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .



**Figure 30:** Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 07

**1.8.8. Profil N° 8**

D'après la (figure 31), Le profil de distribution des chlorures est de type descendant.

Le profil de distribution des sulfates est de type descendant mais on remarque une augmentation en sulfate au niveau de l'horizon n° 2(43-96cm)

Le profil de distribution des bicarbonates est légèrement descendant, on remarque une légère augmentation en  $\text{HCO}_3^-$  au niveau de l'horizon n°3(96-150 cm).

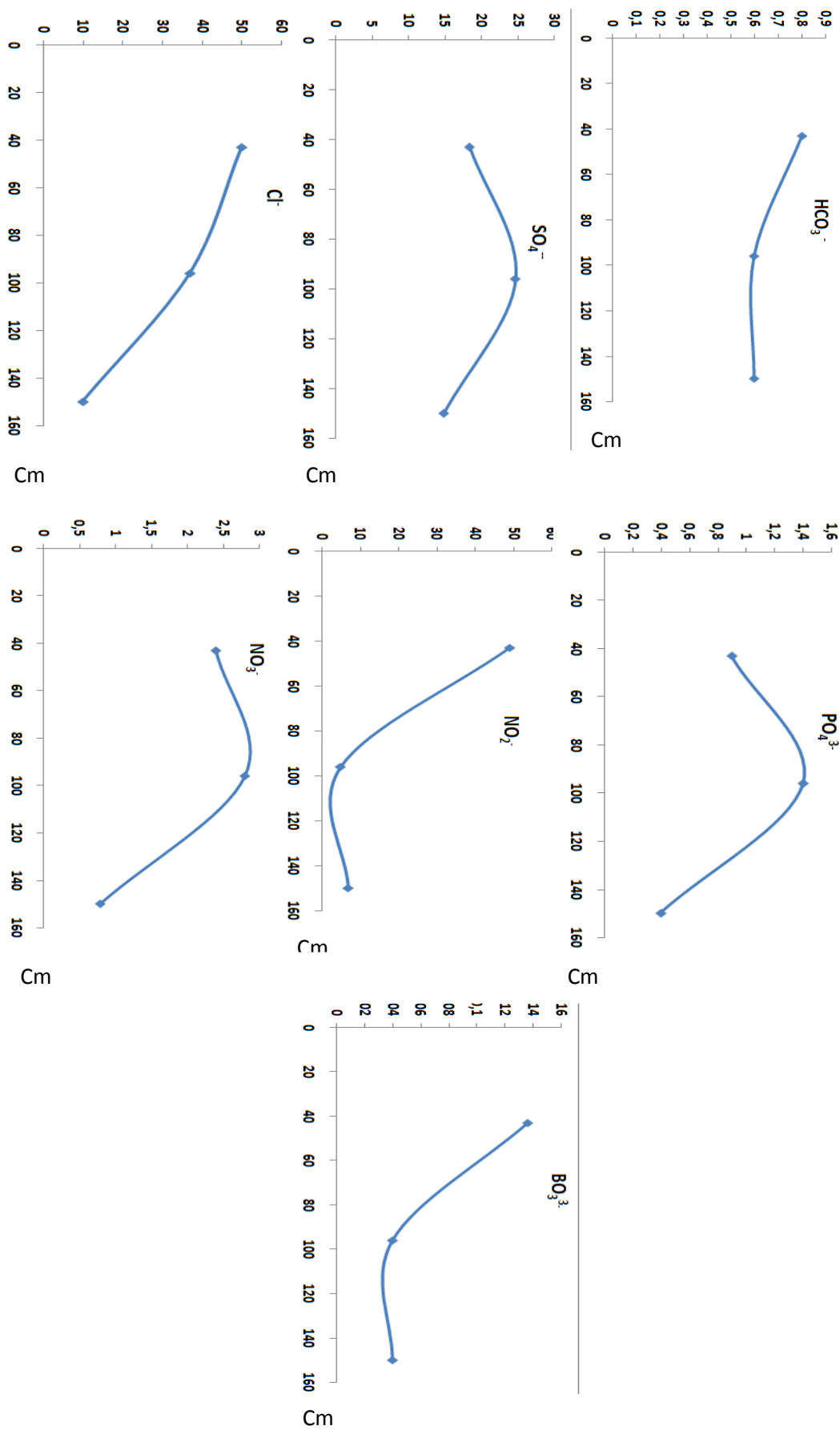
Le profil de distribution des nitrates est de type descendant mais on remarque une légère augmentation en  $\text{NO}_3^-$  au niveau de l'horizon n° 2 entre les profondeurs 43-96cm.

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant, mais on remarque une légère augmentation de la concentration au niveau de l'horizon 03 entre les profondeurs 96-150 cm.

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant avec une augmentation en orthophosphate au niveau de l'horizon n° 2(43-96cm)

Le profil de distribution des borates en fonction des profondeurs est de type descendant, on peut noter un accroissement de la concentration de  $\text{BO}_3^-$  au niveau de l'horizon 3, entre les profondeurs 96-150cm.

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 08 montre que tous les anions présentent un comportement descendant.



**Figure 31:** Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 08

L'analyse des profils de distribution des anions solubles en fonction de la profondeur montre que :

Les chlorures, sulfates et bicarbonates ne présentent pas un comportement particulier en fonction de la profondeur.

Les profils de distribution des nitrates, nitrites, orthophosphates et borates sont de type descendant.

### **1.9. Analyse en composantes principales (ACP) :**

Afin de déterminer la nature et le degré de divergence entre les propriétés physico-chimique du sol pour chaque horizon, une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur les différents paramètres du sol étudiés.

Seuls les deux premiers axes de l'ACP (Figure 32) expriment 54.71 % de la variabilité.

L'axe I (facteur 1) a absorbé 29.67 % de la variation, cet axe associe les paramètres suivants: gypse,  $\text{BO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Matière Organique et Gypse.

L'axe II (facteur 1) a absorbé 25.04 % de la variation, cet axe associe les paramètres suivants ;  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ , pH, CE,  $\text{CaCO}_3$ .

Le traitement statistique des données analytiques permet la détermination des différentes sources de variabilité des propriétés du sol et du bilan ionique.

L'analyse en composante principale permet d'avoir une vision globale des différents caractéristique du sol (physico – chimique) et ionique.

Cette méthode permet de déterminer les sources indépendantes de la variabilité de tous les paramètres étudiés.

La matrice des corrélations (tableau XII) ne relevé pas de forts coefficients, ce qui est peu habituel dans un système de sol salés. Les coefficients les plus élevés ont été enregistrés entre les couples suivant:

Corrélation positive hautement significative entre le couple CE/  $\text{SO}_4^-$  ( $r=0.76$ )

Corrélation positive significative entre :

Le couple pH/ $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0.57$ )

Le couple MO/gypse ( $r=0.57$ )

Le couple CE/ $\text{Cl}^-$  ( $r=0.54$ )

Le couple  $\text{Cl}^-$ /  $\text{SO}_4^-$  ( $r=0.53$ )

En revanche d'autres corrélations significatives mais de signe négatif ont été constatées entre les couples:

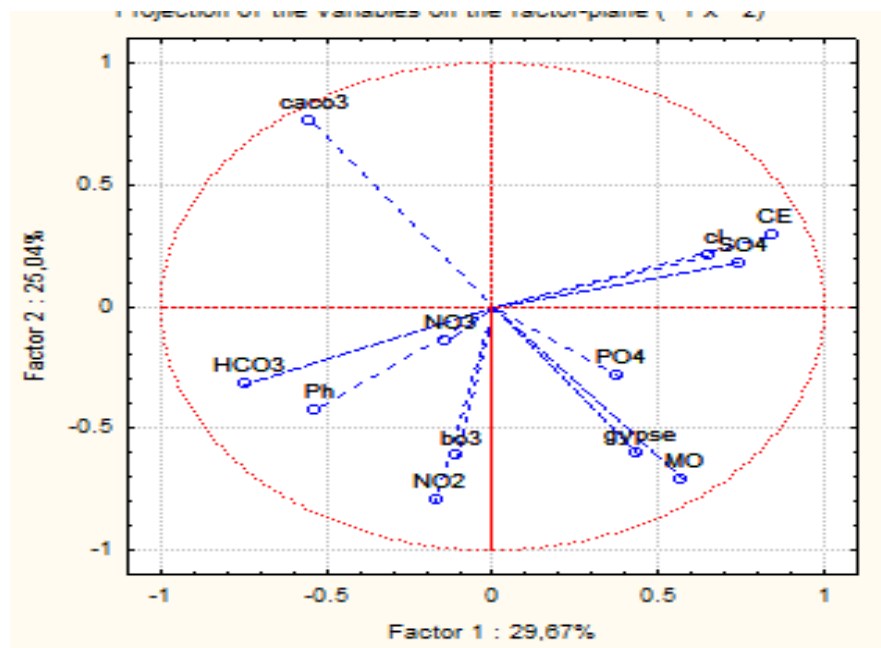
Gypse/calcaire (r=-0.65)

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> /CE (r=-0.68)

Corrélation négative hautement significative entre le couple MO/calcaire(r= -0.89)

**Tableau XII:** Matrice de corrélation

	pH	MO	Gypse	CaCO <sub>3</sub>	CE	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
pH	1.00											
MO	0.04	1.00										
Gypse	0.003	0.57	1.00									
CaCO <sub>3</sub>	-0.01	-0.89	-0.65	1.00								
CE	-0.39	0.32	0.11	-0.21	1.00							
Cl <sup>-</sup>	-0.33	0.13	0.04	-0.18	0.54	1.00						
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-0.28	0.30	0.11	-0.30	0.76	0.53	1.00					
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-0.22	0.22	0.31	-0.30	0.12	0.23	0.06	1.00				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.23	0.14	-0.22	-0.18	-0.13	-0.25	0.05	-0.03	1.00			
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.41	0.40	0.40	-0.42	-0.36	-0.13	-0.3	0.19	-0.09	1.00		
BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.15	0.36	0.07	-0.39	-0.24	-0.13	-0.13	0.17	0.07	0.33	1.00	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.57	-0.25	-0.19	0.14	-0.68	-0.37	-0.38	-0.20	0.10	0.37	0.34	1.00



**Figure 32 :** Représentation des variables sur le plan F1 x F2 de l'ACP.

### 1.10. L'analyse factorielle des correspondances (AFC)

C'est une méthode d'analyse multidimensionnelle qui vise, à structurer, à résumer et synthétiser les données en vue de comprendre le phénomène étudié. Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances se présentent essentiellement sous forme d'une suite de graphes. Les projections des individus et des variables figurent simultanément sur les mêmes graphiques. Deux individus proches sur la représentation sont semblables vis-à-vis de toutes les variables.

Selon la figure 32 en remarque 3 groupe:

Groupe1: P1H1 P4H1 P1H2 P1H3 P1H4 P2H4 P3H3 P2H1 P2H2 P2H3 P3H4 P3H1 P3H2

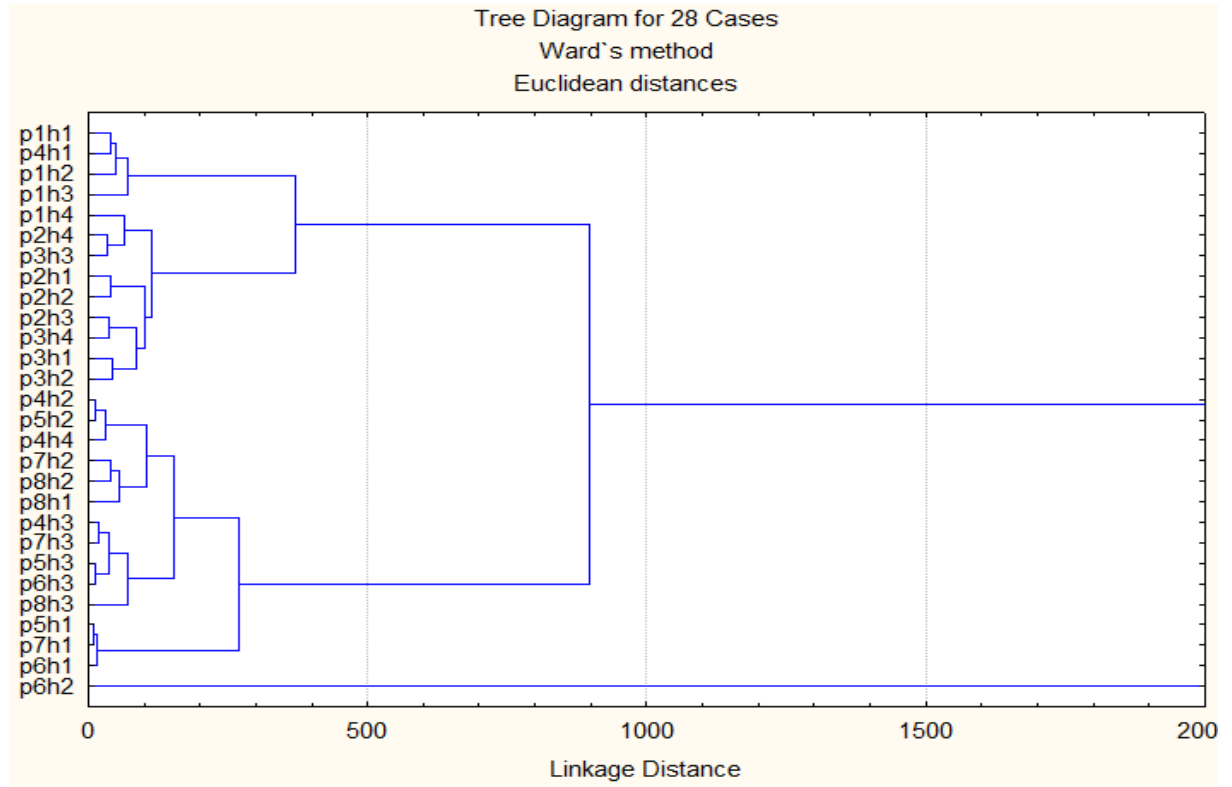
Groupe 2: P4H2 P5H2 P4H4 P7H2 P8H2 P8H1 P4H3 P7H3 P5H3 P6H3 P8H3 P5H1 P7H1 P6H1

Groupe 3 : P6H2

D'après la figure 33 On peut remarquer que le groupe 01 comporte les horizons presque tous de surface qui sont caractérisés par une CE élevée et un taux de matière organique élevé, le groupe 02 comporte des horizons de profondeur qui sont caractérisés par un taux élevé de calcaire.

Groupe 03 est totalement différent comporte l'horizon P6H1 qui contient un taux élevé en matière organique, en gypse, en calcaire avec une faible conductivité électrique.





**Figure 33 :** Dendrogramme de la classification des différents horizons en fonction des Caractéristiques du sol selon la méthode de WARD.

**1.11. Les métaux lourds**

Nous rappelons que le dosage des métaux lourds a été effectué uniquement sur les huit horizons de surface (H1) des huit profils étudiés.

Dix métaux lourds ont été dosés sous leur forme totale à savoir : l’arsenic, le chrome, le cadmium, le cuivre, le fer, le manganèse, le nickel, le sélénium, le zinc et le plomb.

Les résultats obtenus sont rappelés dans le tableau XIII.

**Tableau XIII :** Concentration des métaux lourds dans les échantillons de sol (ppm)

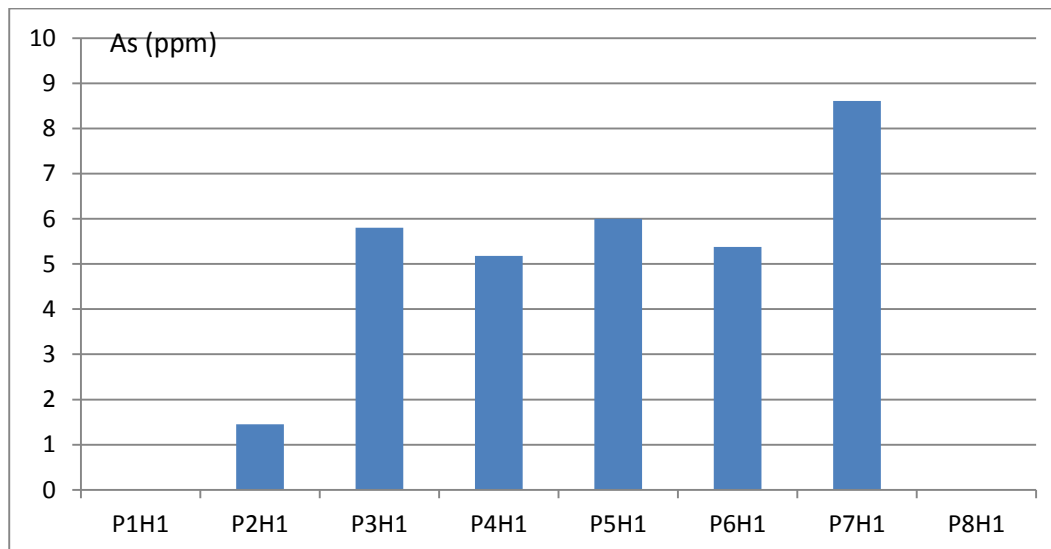
Echantillons	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
P1H1	7.51	117.35	17078.37	70.66	7.12	10.66	0	1.41	0.089	1.5
P2H1	6.81	121.55	12082.27	48.97	8.07	13.27	1.45	0	0	3.66
P3H1	17.32	141.04	7222.49	16.71	5.87	17.35	5.80	0	0	2.25
P4H1	17.52	77.87	5403.16	17.11	3.83	16.84	5.18	0	0	1.91
P5H1	14.33	138.58	5177.43	12.99	6.42	18.84	6.003	0	0	3.23
P6H1	15.27	301.37	5062.34	11.96	5.57	20.26	5.38	0	0	4.05
P7H1	29.09	398.74	11884.54	29.07	13.95	30.55	8.61	0.7	0	3.83
P8H1	5.24	78.10	22342.01	100.01	9.26	7.22	0	0.091	0.067	0.77

En absence de normes Algériennes relatives aux teneurs de références dans le sol, nous avons adopté une approche comparative par rapports aux références relevées dans la bibliographie et complétées par les normes européennes pour interpréter les résultats obtenus.

### 1.11.1. Arsenic

La concentration en arsenic des huit échantillons correspondant aux horizons superficiels des huit profils étudiés se situe entre 0 ppm pour les échantillons P1H1 et P8H1 et 8.61 ppm pour l'échantillon P7H1 (figure 34).

Selon (ANRH in BEDDIAF, 2014) la norme de pollution par l'arsenic est de 100 mg/kg. Les échantillons de sol de chott El Frain sont en dessous du seuil limite autorisé pour un sol.

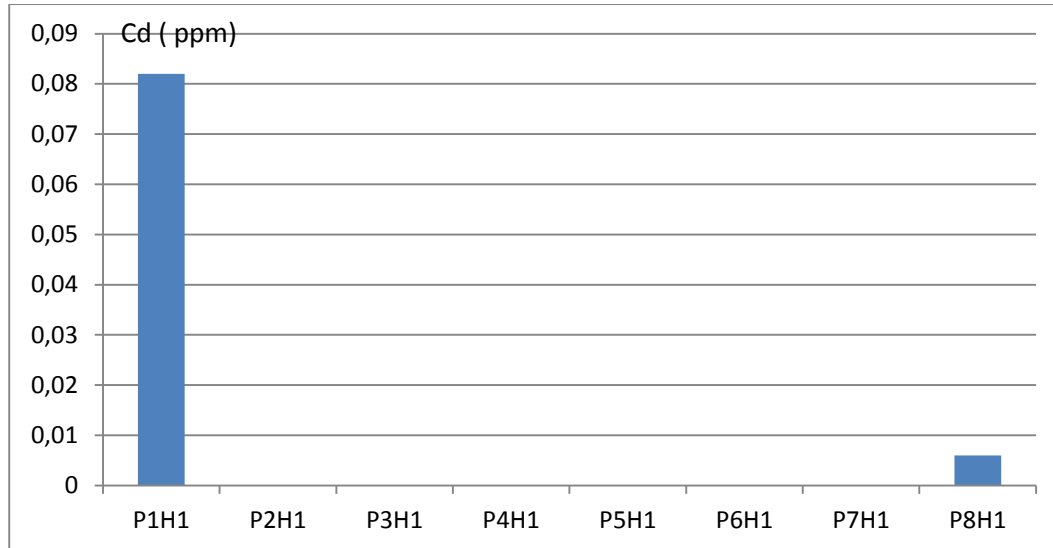


**Figure 34** : Représentation graphique de la concentration en arsenic des échantillons de sol

### 1.11.2. Cadmium

La concentration en cadmium est nulle pour les échantillons P2H1, P3H1, P4H1, P5H1, P6H1, P7H1, elle est de 0.089 ppm pour l'échantillon P8H1, la concentration la plus forte a été enregistrée pour l'échantillon P1H1, cet échantillon se situe vers le centre du chott (figure 35).

Selon AFNOR U 44-041, 1985, la norme de pollution par le cadmium (Cd) dans le sol est de 2 mg/kg (2ppm), les échantillons de sol de chott El Frain sont en dessus du seuil limite autorisé pour un sol.

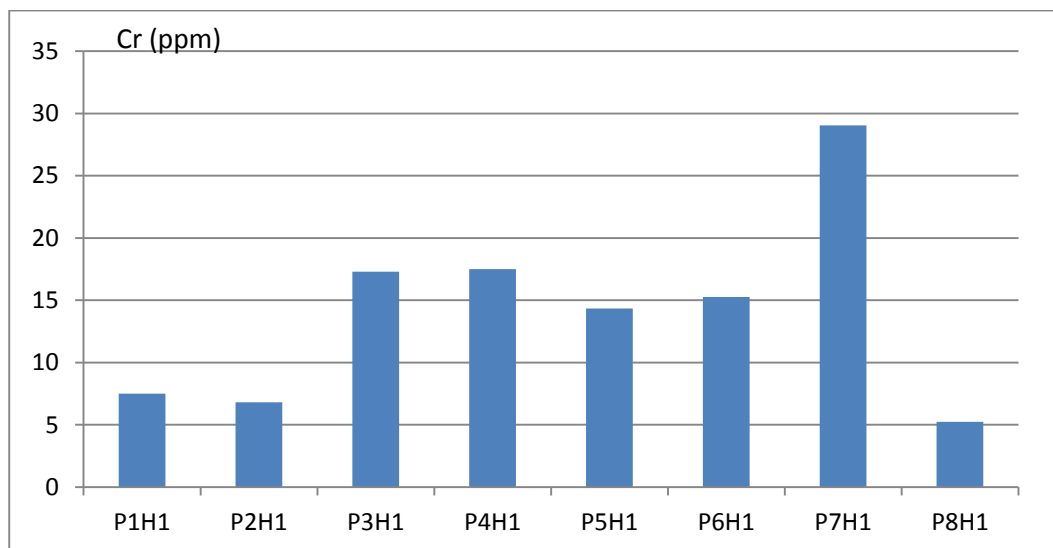


**Figure 35 :** Représentation graphique de la concentration en cadmium des échantillons de sol

### 1.11.3. Chrome

La concentration en chrome oscille entre 5.24 ppm et 29.04 ppm, la plus forte concentration a été enregistrée avec l'échantillon P7H1 (figure 36).

Selon **AFNOR U 44-041, 1985**, la norme de pollution par le chrome(Cr) dans le sol est de 150 mg/kg (150ppm), nos échantillons sont inférieurs aux normes de pollution.



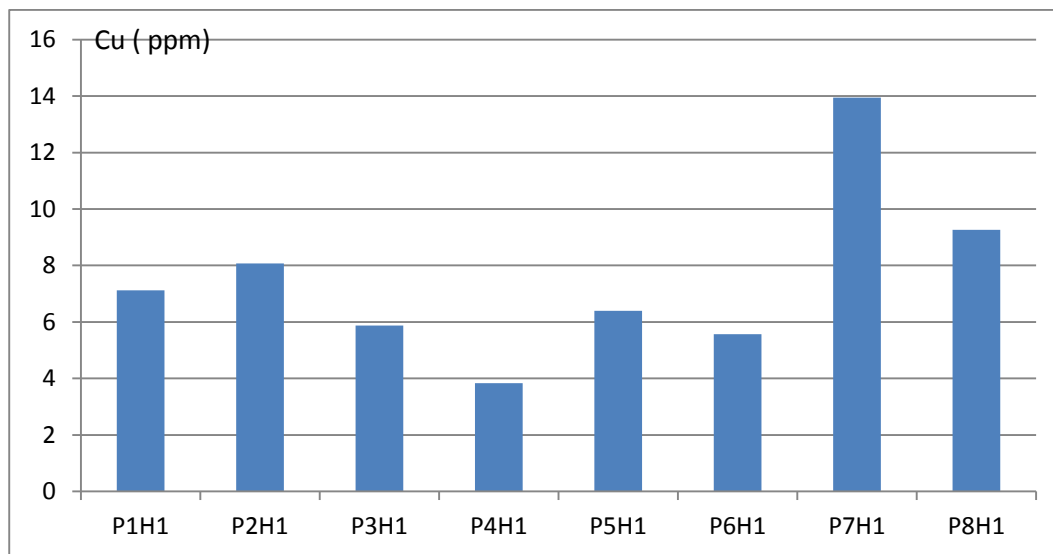
**Figure 36 :** Représentation graphique de la concentration en chrome des échantillons de sol

#### 1.9.4. Cuivre

La concentration s'échelonne entre 3.83 ppm pour l'échantillon P4H1 et 13.95ppm pour l'échantillon P7H1.

Le pique des concentrations est observé avec l'échantillon P7H1 (figure 37).

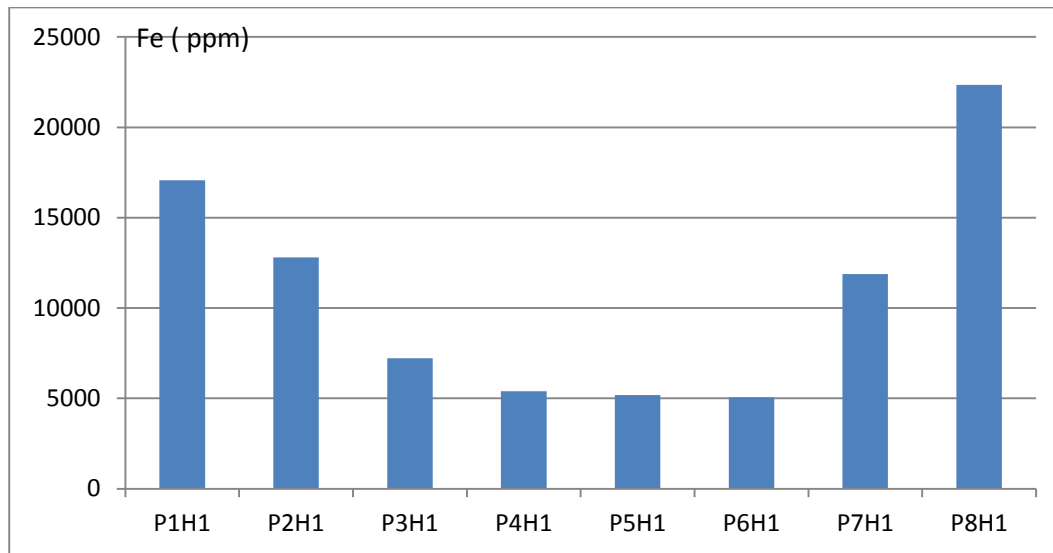
Ces valeurs sont en dessous des limites définies Selon **AFNOR U 44-041, 1985**, les normes de toxicité par de cuivre (Cu) dans le sol sont arrêtées à 100 mg/kg (100ppm). Cet élément est essentiel pour les plantes mais jusqu'à des valeurs de 125 mg/kg à partir de cette valeur il devient toxique.



**Figure 37** : Représentation graphique de la concentration en cuivre des échantillons de sol

### 1.11.5. Fer

La concentration en fer va de 5062.34 ppm pour l'échantillon P6H1 à 22342.01 ppm pour l'échantillon P8H1 qui présente la concentration en fer la plus élevée (figure 38). Suite à l'absence des normes relatives à la pollution par le fer, ce dernier n'a pas été comparé aux normes.



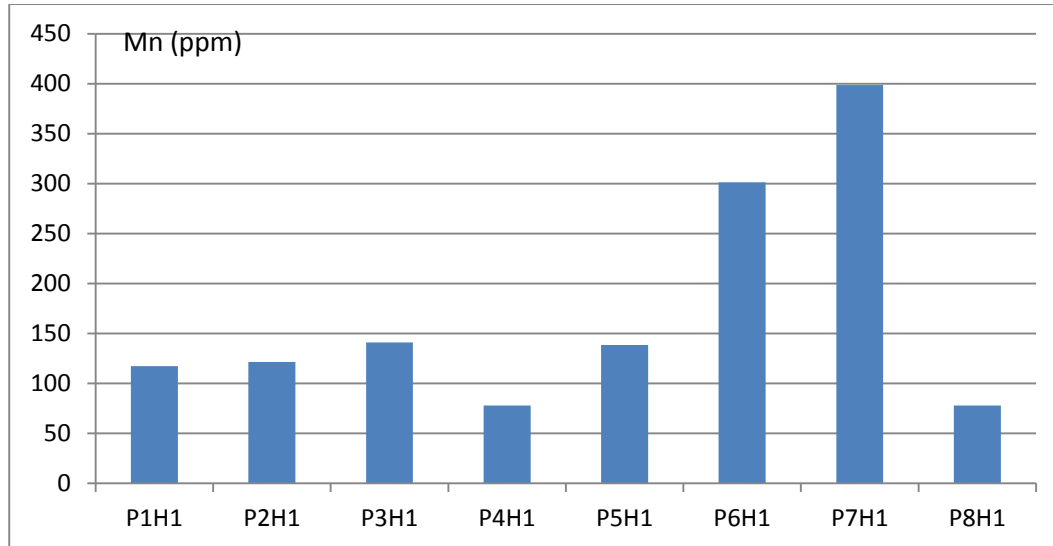
**Figure 38 :** Représentation graphique de la concentration en fer des échantillons de sol

### 1.11.6. Manganèse

La concentration en manganèse oscille de 77.87 ppm pour l'échantillon P4H1 à 398.74 ppm pour l'échantillon P7H1.

La concentration la plus importante en Manganèse des échantillons étudiés est enregistrée avec l'échantillon P7H1 (figure 39).

Selon **GODIN, 1983** la norme de pollution par le manganèse (Mn) dans le sol est de 270 mg /kg, tous les échantillons des sols de chott El Frain présentent des concentrations inférieures aux normes. Cet élément est essentiel pour les plantes mais jusqu'à des valeurs de 270 mg/kg, à partir de cette valeur il devient toxique.



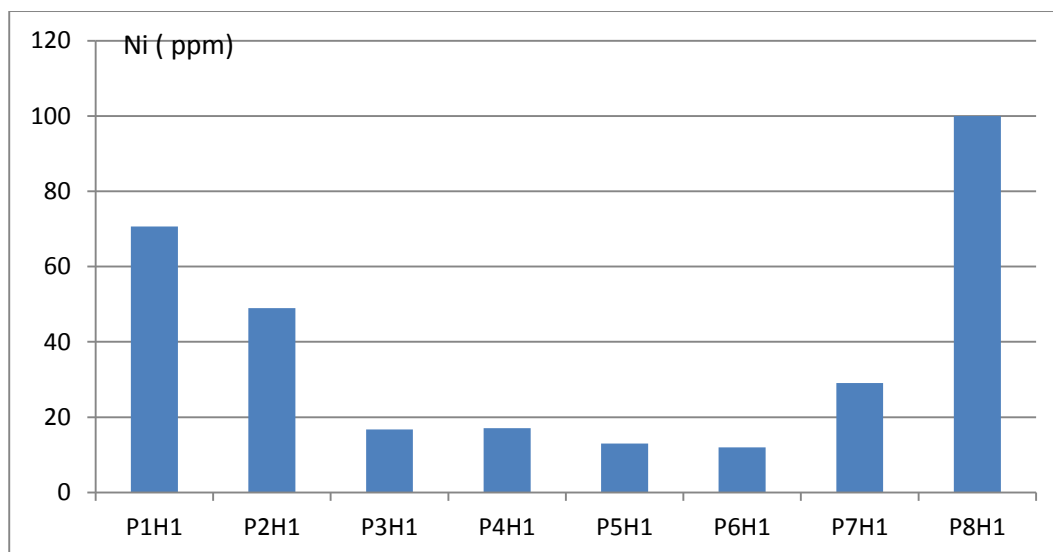
**Figure 39 :** Représentation graphique de la concentration en manganèse des échantillons de sol

#### 1.11.7. Nickel

Les concentrations en nickel oscillent entre 11.96 ppm pour l'échantillon P6H1 et 100.01 ppm pour l'échantillon P8H1.

La concentration la plus importante en Nickel des échantillons étudiés est enregistrée avec l'échantillon P8H1 (figure40).

Selon **AFNOR U 44-041, 1985**, la norme de pollution par le nickel (Ni) dans le sol est fixée à 50 mg/kg, les échantillons sont tous inférieurs aux normes. Cet élément est essentiel pour les plantes mais jusqu'à 100 mg/kg, à partir de cette valeur il devient toxique.

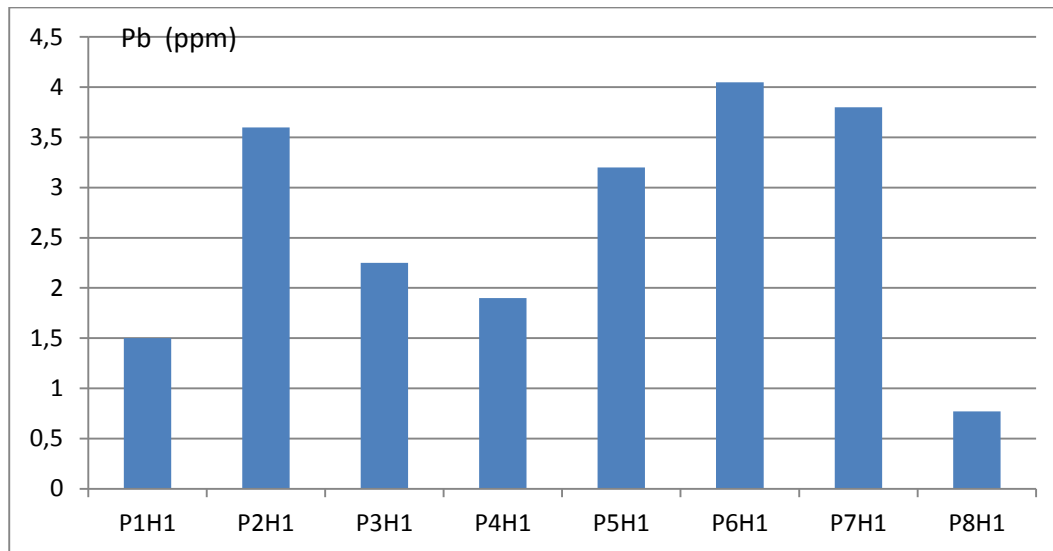


**Figure 40 :** Représentation graphique de la concentration en nickel des échantillons de sol

### 1.11.8. Plomb

La concentration en plomb varie de 0.77 ppm pour l'échantillon P8H1 à 4.05 ppm pour l'échantillon P6H1, la concentration la plus élevée est observé sur l'échantillon P6H1 (figure41).

Ces valeurs sont en dessous des limites définies Selon **AFNOR U 44-041, 1985**, les normes de toxicité par de plomb (Pb) dans le sol sont arrêtées à 100 mg/kg (100ppm).

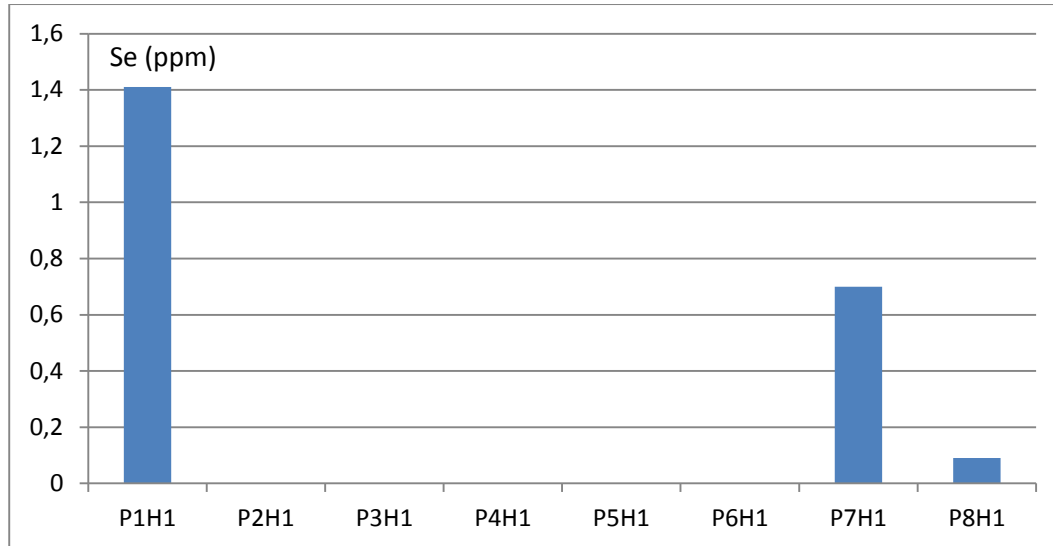


**Figure 41** : Représentation graphique de la concentration en plomb des échantillons de sol

### 1.11.9. Sélénium

La concentration en sélénium est nulle pour les échantillons P2H1, P3H1, P4H1, P5H1, P6H1, la concentration la plus élevée a été enregistré avec le P1H1, qui présente une concentration de 1.41 ppm (figure 42).

Selon **AFNOR U 44-041, 1985** la norme de toxicité par le sélénium (Se) dans le sol est fixée à 10 mg/kg, les échantillons de sol de chott El Frain sont inférieurs aux normes.

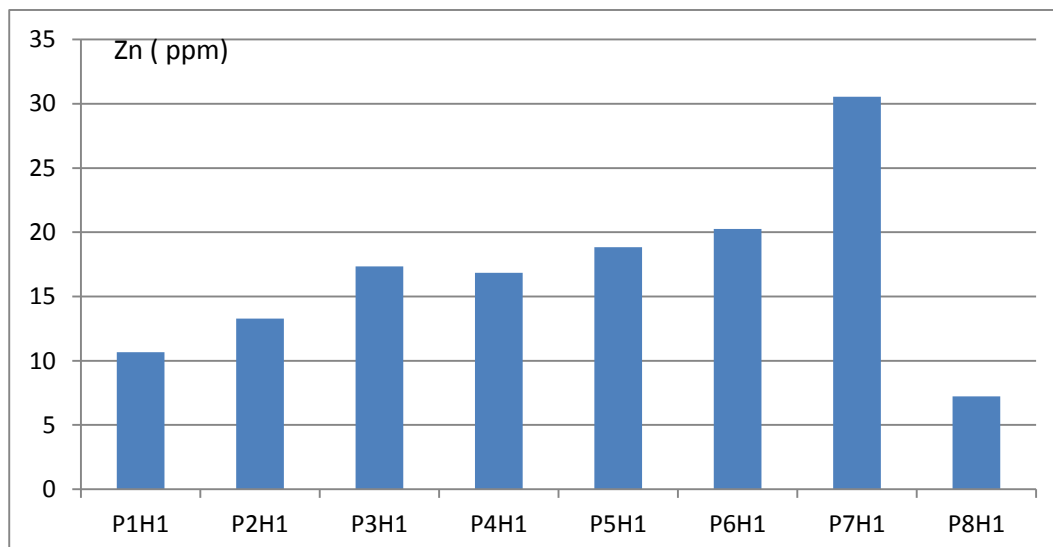


**Figure 42:** Représentation graphique de la concentration en sélénium des échantillons de sol

#### 1.11.10. Zinc

D'après la (figure 43) La concentration en zinc varie de 7.22 ppm pour l'échantillon P8H1 à 30.55 ppm pour l'échantillon P7H1 cet échantillon représente encore une fois le pique des concentrations.

Selon **AFNOR U 44-041, 1985** La norme de pollution par le de zinc (Zn) dans le sol est estimée à 300mg/kg, Les échantillons de sol sont inférieurs aux normes, Cet élément est essentiel pour les plantes mais jusqu'à 400 mg/kg à partir de cette valeur il devient toxique.



**Figure 43:** Représentation graphique de la concentration en zinc des échantillons de sol



On peut remarquer, d'après les figures que les concentrations les plus importantes en métaux lourds correspondent aux échantillons se trouvant à la périphérie du chott et présentant les CE les plus faibles.

Les pics des concentrations sont enregistrés comme suit: As, Cr, Cu, Mn, Zn pour l'échantillon P7H1.

La concentration la plus importante en Nickel est observée avec l'échantillon P8H1.

Le pic des concentrations en Plomb est enregistré pour l'échantillon P6H1.

Tous les métaux lourds dosés à savoir As, Cr, Cu, Mn, Zn, Pb, Ni, Se, Fe, Cd, n'ont pas atteint les seuils de toxicité.

## 2. Discussion générale

D'après l'humidité à saturation des échantillons étudiés, on peut supposer que la texture des échantillons de sol est très fine (argileuse) (**HENIN, 1976**).

**LAMY (2002)** a montré que les métaux lourds peuvent être absorbés et immobilisés par les minéraux argileux ou également être complexés par la matière organique du sol en formant alors un complexe organométallique (chélates).

Selon l'échelle de **DURANT (1983)**, le pH du sol du chott El Frain est neutre à moyennement alcalin dans tous les horizons. Ces valeurs de pH reflètent la présence de taux excessive de calcaire qui doivent augmenter le pH du sol jusqu'à une valeur de 8.37 (**FRITZ, 1975**), les valeurs les plus basses de pH peuvent être affectées à la présence d'une croute gypseuse (**MARLET et JOB, 2006**), ou à la présence de taux excessive en matière organique.

Selon (**BABICH et STOTZKY, 1977**) Le pH est un autre facteur important influençant la solubilité et la spéciation du métal et donc sa toxicité. Selon (**GILLER et al., 1998**) Les organismes et les microorganismes eux-mêmes peuvent influencer la disponibilité des métaux lourds dans leur environnement proche par acidification locale lors d'une réaction métabolique ou par la production de composés complexant les métaux lourds. Selon (**SANDERS et al., 1986**) Quand le pH diminue d'une unité, la concentration des cations métalliques libres augmente d'environ un facteur de 2 dans la solution de sol et par conséquent améliore la phytoextraction.

Les sols de la toposéquence étudiés sont dans leur majeure partie extrêmement salins (**USSSL, 1954**). Deux groupes d'échantillons peuvent être départager, le premier groupe des CE > 70dS/m et le second avec des CE < 70 dS/m, avec une baisse remarquable dans la CE, ceci peut être expliqué par la situation géographique du premier groupe qui se situe sur la dépression du chott et qui est dépourvue de végétation (terrain nu), le deuxième groupe est positionné un peu plus en haut sur un léger relief où on a pu remarquer sur le terrain la présence d'une végétation halophile assez dense. Selon (**MARLET et JOB, 2006**) une conductivité électrique élevée indique une minéralisation intensive et renseignent sur une lithologie riche en évaporites : Halite, gypse de la roche réservoir.

Selon l'échelle de (**BAIZE ,1988**) les sols du chott El Frain sont faiblement à très fortement calcaires. Il peut être observé une variation du taux de calcaire. Ces

variations peuvent s'expliquer par la variation de la microtopographie et des processus géochimiques qui règnent dans le sol (**KOUL, 2015**)

Les résultats des taux de gypse et de calcaire en comparaison avec les observations sur le terrain montrent qu'il y a présence d'horizons d'accumulation de calcaire en profondeur avec même des cristaux de calcite avec la supposition de présence des horizons d'accumulation de gypse en subsurface. (**BOUMEZBEUR, 2004**) a indiqué la présence d'importantes quantités du gypse dans les sols du chott. Le calcaire peut provenir de l'altération de la roche mère ou de la précipitation des carbonates de calcium (**DUCHAUFOR et al., 1977**).

D'après (**AFES, 1998**), l'origine du gypse en grande quantité dans le sol est en relation étroite avec soit la présence des roches sédimentaires gypseuses dont le gypse est dissous et transporté à l'état de solution dans les nappes de profondeur et dans les couvertures pédologiques. Il peut être repris sous forme solide et transporté par le vent. Soit apporté par les apports éoliens, ou par la présence des eaux souterraines et superficielles chargées en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{SO}_4^{-}$  qui permettent la précipitation du gypse sous forte évaporation.

Les taux de matière organique des sols de chott El Frain sont relativement élevés en comparaison avec les valeurs moyennes dans la région, sachant que les sebkhas et les chotts sont des terres dépourvues de végétation ou présentent un faible couvert végétal constitué essentiellement de végétation halophyte. La principale source de matière organique dans ce genre de milieu provient des apports extérieurs provenus de la décharge publique qui se situe à la proximité de la zone d'étude ainsi qu'au déversement des eaux usées de la région dans le chott.

La concentration des chlorure dans la solution du sol traduit un état de salinité, plus la salinité augmente plus la concentration en chlorure augmente. Tous les types des sols comportent des ions chlorures à différentes concentrations, ses principales sources sont, la dissolution des sels du chlore à partir des roches mères en particulier quand il s'agit de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ...etc., et l'infiltration des eaux profondes ou superficielles, les rejets des déchets et les eaux usées.

le chlore présente un caractère conservatif dans la solution du sol ; il ne participe ni à des réactions de précipitations ni à des réactions d'échanges ioniques, sa concentration suit toujours l'état de salinité du sol (**CHERNET et al., 2001**). Selon (**ANRH in BEDDIAF, 2014**). La norme de toxicité en chlorure est de 200 mg/l,

(5.6 méq /l) ). Les résultats analytiques montrent que Tous ces échantillons est supérieures aux normes.

Le  $\text{SO}_4^{--}$  est un anion qui est contrôlé dans la solution su sol par la précipitation ou la dissolution des minéraux sulfatés principalement le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), sa concentration dans la solution du sol dépend fortement de ce minéral (**DROUBI, 1976**).

La présence de teneurs élevée en sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ) en fonction de la profondeur indique la présence d'une croute gypseuse (**MARLET et JOB, 2006**).

Le rapport  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  montre que le facies géochimique dominant dans les sols de Chott El Frain est de type chloruré (**LOYER, 1991**).

Les analyses du sol indiquent que les sols de chott El Frain sont peu bicarbonatés dans tous les horizons ceci suppose que les sols évoluent dans la voie saline neutre de la salinisation (**CHEVERRY, 1974**). Les bicarbonates sont contrôlés dans la solution du sol soit par la précipitation dissolution de la calcite, soit par la libération des acides organique qui proviennent de la dégradation de la matière organiques.

Les résultats analytiques montrent que 7 échantillons présentent des valeurs supérieures aux normes du danger de toxicité par les nitrates (**normes algériennes NA 63 60-1992**). Tous ces échantillons se situent à la périphérie du chott. Ces taux élevés peuvent êtres du à des apports par des fertilisants azotés, sachant que la toposéquence est limitrophe du coté Est d'un champ de culture.

Le principal risque pour la santé humaine associé à l'ingestion de nitrates est lié à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. Cette réduction de  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NO}_2^-$  est le fait de bactéries ayant une activité nitrate réductase. Il ne semble pas exister d'études relatant un effet toxique chronique des nitrates qui ne soient pas lié aux effets des nitrites (**ALOUANE, 2012**).

En comparant les concentrations en nitrites avec les normes algériennes NA 63 60-1992, stipulant que la norme de toxicité en nitrite est de 0.1 mg/l, correspondant à 0.002 méq/l (**ANRH in BEDDIAF, 2014**), la concentration en nitrites de tous les échantillons dépassent la limite du danger de toxicité.

La concentration en nitrite est assez importante en comparaison avec celle des nitrates dans la solution du sol. Selon (**SARKAR et al., 2007**) les teneurs élevées en nitrite peuvent êtres expliquées par le fait que les nitrites proviendraient soit de l'oxydation

incomplète de l'ammonium soit d'une réduction des nitrates qui sont d'origine agricole sous l'influence des bactéries dénitrifiantes.

Selon les normes algériennes **NA 63 60-1992** pour la toxicité avec les orthophosphates, il s'avère que tous les échantillons ont dépassé les normes de toxicité.

On peut remarquer des concentrations importantes en orthophosphates dans les échantillons P2H1, P4H1, P6H1. Les trois échantillons correspondent à des horizons de surface ce qui suppose que la source des orthophosphates est extérieure. Généralement les sources principales de pollution par des orthophosphates dans les eaux et les sols sont les eaux usées ; les orthophosphates proviennent des détergents et des produits de nettoyage ménager ou industriels.

Les orthophosphates présentent un comportement descendant dans le profil. Les orthophosphates sont moins aisément lessivables que les nitrates. Ils sont facilement adsorbés sur les d'argile, de sédiment, pour former des complexes organiques ou minéraux (chélates – humique). Par conséquent lors de l'infiltration de l'eau dans les sols, une fraction des phosphates initialement dissous dans l'eau sera retenue par les particules de sol.

Seule une petite partie sera entraînée et contamine les eaux superficielles et les nappes phréatiques (**BANAS et LATA, 2007**).

Les concentrations en borates des échantillons P1H1, P1H2, P2H2, P2H4, P3H3 P4H3, P4H4, P5H3 P6H1, P6H3, P8H2, P8H3 est inférieures à la limite du danger et les autres 16 échantillons sont Supérieures à la limite du danger de toxicité pour les plantes fixée à 1.5mg/l (0.05méq/l)

Les profils de distribution des nitrates, nitrites, orthophosphates et borates sont de type descendant. Ce résultat montre que les apports de ces éléments dans le sol proviennent de la surface (apports extérieurs).

Les analyses du dosage des métaux lourds (arsenic, cuivre, chrome, cadmium, fer, nickel, manganèse, sélénium, plomb et zinc) montrent que les valeurs n'ont pas atteint des seuils de pollution pour tous les échantillons de sol.

Suite à l'absence des normes relatives à la pollution par le fer, ce dernier n'a pas été comparé aux normes.

Les principales sources de pollution par le plomb sont les gaz émis par les véhicules et l'activité industrielle, il est apporté essentiellement par voie atmosphérique. Les concentrations en plomb sont en dessous des normes de pollution, ceci peut être du à

la situation de la zone d'étude éloignée des zones d'activités industrielles ainsi que sa proximité de voies routières secondaires à faible densité de trafic.

Les conditions du milieu pH, taux de calcaire, texture, potentiel d'oxydo-réduction...etc favorisent la solubilité et la mobilité des éléments traces métalliques dans le profil, il s'ajoute à ces conditions les conditions climatiques. Le prélèvement des échantillons à été effectué au mois de Novembre, ce qui correspond à la saison humide selon le diagramme ombrothermique. Durant cette saison les précipitations sont importantes et les températures sont basses ( $P > 2T$ ). La solution du sol est diluée, la concentration en éléments chimiques en particulier les métaux lourds diminue. L'augmentation des précipitations favorise le lessivage des éléments en profondeur. Il est utile de compléter ce travail par le dosage des métaux lourds dans les horizons de profondeur.

conclusion

### Conclusion générale

Notre étude est basé sur l'étude de l'état de pollution par les anions polluants (chlorures, nitrates, nitrites, orthophosphates...etc), et par les métaux lourds (Arsenic, cadmium, cuivre, chrome, Fer, manganèse, Nickel, plomb, sélénium, et Zinc) des sols salés de chott El Frain.

La méthodologie adoptée est basée sur

- ✓ Réalisation d'un échantillonnage de sol sur le terrain par l'étude d'une toposéquence d'environ 250 m, sur laquelle huit profils pédologiques ont été décrit et échantillonnés selon un protocole adapté à l'étude des milieux pollués.
- ✓ Une analyse des paramètres physico-chimiques pour la caractérisation du sol et qui peuvent influencer la pollution du sol.
- ✓ Analyse des anions solubles dans la solution du sol qui peuvent poser des problèmes de pollution à forte concentration
- ✓ Analyse des concentrations en métaux lourds totaux dans le sol (Arsenic, cadmium, cuivre, chrome, Fer, manganèse, Nickel, plomb, sélénium, et Zinc) par extraction à l'eau régale et dosage par ICP-MS.
- ✓ Les résultats ainsi obtenues ont été complétées par une analyse statistique, ACP et l'AFC.

A la lumière de cette étude on peut conclure que :

La texture des échantillons de sol de la toposéquence étudiée est très fine (argileuse), par conséquent les métaux lourds peuvent être absorbés et immobilisés par les minéraux argileux ou être complexés par la matière organique du sol en formant un complexe organométallique (chélates).

Le pH du sol de chott El Frain est neutre à moyennement alcalin dans tous les horizons, suite à la présence de taux excessive en calcaire. Les valeurs les plus basses du pH peuvent être affectées à la présence d'une croute gypseuse, ou à la présence de taux excessive en matière organique.

Les sols de la toposéquence étudiés sont dans leur majeure partie extrêmement salins. Deux groupes d'échantillons peuvent être départagés, le premier groupe est celui



dont les conductivités électriques sont supérieures à 70dS/m et le second avec des conductivités électriques inférieures à 70 dS/m. Cette baisse remarquable dans la CE, a été attribuée à la situation géographique du premier groupe qui se situe sur la dépression du chott et qui est dépourvue de végétation (terrain nu), le deuxième groupe est positionné un peu plus en haut sur un léger relief où on peut être observé sur le terrain la présence d'une végétation halophile assez dense.

Les sols du chott El Frain sont faiblement à très fortement calcaires. Les résultats des taux de gypse et de calcaire en comparaison avec les observations sur le terrain montrent qu'il y a présence d'horizons d'accumulation de calcaire en profondeur avec même des cristaux de calcite avec la supposition de présence d'horizons d'accumulation de gypse en subsurface.

Il s'avère que les taux de matière organique des sols de chott El Frain sont relativement élevés en comparaison avec les valeurs moyennes dans la région. La principale source de matière organique dans ce genre de milieu est affectée des apports extérieurs provenant de la décharge publique qui se situe à la proximité de la zone d'étude ainsi qu'au déversement des eaux usées de la région dans le chott.

La concentration des chlorure dans la solution du sol traduit un état de salinité, plus la salinité augmente plus la concentration en chlorure augmente. Tous les types des sols comportent des ions chlorures à différentes concentrations en sel. Les principales sources sont la dissolution des sels du chlore à partir de la roche mère en particulier quand il s'agit de NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>...etc., et l'infiltration des eaux profondes ou superficielles, les rejets des déchets et les eaux usées. Les résultats analytiques montrent que tous les échantillons sont supérieurs aux normes de toxicité par les chlorures.

La présence de teneurs élevées en sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) en fonction de la profondeur indique la présence d'une croûte gypseuse. Le SO<sub>4</sub><sup>-</sup> est contrôlé dans la solution du sol par la précipitation ou la dissolution des minéraux sulfatés principalement le gypse (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), sa concentration dans la solution du sol dépend fortement de ce minéral.

Le rapport Cl/SO<sub>4</sub> montre que le faciès géochimique dominant dans les sols de Chott El Frain est de type chloruré.

Les analyses du sol indiquent que les sols de chott El Frain sont peu bicarbonatés dans tous les horizons ceci suppose que les sols évoluent dans la voie saline neutre de la salinisation.

Sept échantillons présentent des valeurs supérieures aux normes du danger de toxicité par les nitrates. Tous ces échantillons se situent à la périphérie du chott. Ces taux élevés peuvent être dus à des apports par des fertilisants azotés, sachant que la toposéquence est limitrophe du côté Est d'un champ de culture.

La concentration en nitrites de tous les échantillons dépasse la limite du danger de toxicité. La concentration en nitrite est assez importante en comparaison avec celle des nitrates dans la solution du sol. Les teneurs élevées en nitrite peuvent être expliquées par le fait que les nitrites proviendraient soit de l'oxydation incomplète de l'ammonium soit d'une réduction des nitrates qui sont d'origine agricole sous l'influence des bactéries dénitrifiantes.

Il s'avère que tous les échantillons ont dépassé les normes de toxicité en orthophosphates. Les concentrations les plus importantes en orthophosphates ont été observées dans les échantillons P2H1, P4H1, P6H1. Les trois échantillons correspondent à des horizons de surface ce qui suppose que la source des orthophosphates est extérieure. Généralement les sources principales de pollution par des orthophosphates dans les eaux et les sols sont les eaux usées ; les orthophosphates proviennent des détergents et des produits de nettoyage ménager ou industriels.

Les concentrations en borates des échantillons P1H1, P1H2, P2H2, P2H4, P3H3, P4H3, P4H4, P5H3, P6H1, P6H3, P8H2, P8H3 sont inférieures à la limite du danger et les autres 16 échantillons sont supérieures à la limite du danger de toxicité.

Les profils de distribution des nitrates, nitrites, orthophosphates et borates sont de type descendant. Ce qui montre que les apports de ces éléments dans le sol proviennent de la surface (apports extérieurs).

Les analyses du dosage des métaux lourds (arsenic, cuivre, chrome, cadmium, fer, nickel, manganèse, sélénium, plomb et zinc) montrent que les valeurs n'ont pas atteint des seuils de pollution pour tous les échantillons de sol.

Cette étude a répondu aux objectifs fixés, mais soulève également plusieurs points qu'il serait nécessaire de quantifier. On pourrait ainsi définir quatre axes à approfondir dans l'étude de la pollution des zones humides (milieux salés).

- Une étude de la pollution par les métaux lourds des horizons de profondeur est souhaitable ;
- La réalisation d'un échantillonnage à l'intérieur de la sebkhat pour élargir la zone d'étude ;
- Il est aussi utile de procéder au dosage des cations solubles pour compléter les données sur le bilan ionique.
- Et enfin faire une enquête sur le terrain des sources de pollution qui peuvent menacer la région.

Références

bibliographiques

**Références bibliographiques**

- **ADRIANO D.C., 2001.** Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York.
- **A.F.E.S., 1998.** Référentiel pédologique. INRA éditions, Paris.
- **AFNOR, 1985.** Qualité des sols-Sols-Détermination du cuivre, du manganèse, du zinc et du fer-Extraction en présence de DTPA. NFX31-121. Paris, France: Afnor. p109.
- **ALIAT T., 2007.** Les relations sol- végétation dans le chott El Beidha « Hammam Sokhna » wilaya de Sétif. Thèse de magister. Université de Batna..
- **ALOUANE H., 2012,** Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Mémoire Magistère, Université Mentouri Constantine.
- **ANONYME, 2004.** Atlas des zones humides Algériennes d'importance internationale. Edit. Min. Agri. Devel. Rural ; Dir. Gén. Forêts. ; 107 p
- **AUBERT G., 1983.** Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés et salsodiques. Cah. O.R.S.T.O.M., série, Pédologie, vol xx, n° 1, pp : 73 – 78.
- **BABICH H., STOTZKY G., 1977.** Effect of cadmium on fungi and on interactions between fungi and bacteria in soil: influence of clay minerals and pH. Appl. Environ. Microbiol. 33, 1059-1066.
- **BABICH H., STOTZKY G., 1980.** Environmental factors that influence the toxicity of heavy metals and gaseous pollutants to microorganisms, Crit. Rev. Microbiol. 8, 99-145.
- **BANAS D. et LATA J., 2007.** Université Paris-Sud ; Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution ; UMR 8079 -CNRS/ENGREF/Univ. Paris-Sud ; Bât 362 ; F-91405 Orsay Cedex France
- **BAIZE D., 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA Éditions, Paris, 410 p.
- **BAIZE D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris, pp172.
- **BAKER J., WALKER, (1990).** Terrestrial higher plants which hyper accumulate metallic elements – Review of their distribution, ecology, and photochemistry. Biorecovery 1, 81-126.
- **BARNAUD G., 2000.** Identifier et caractériser les zones humides : une variété de points de vue. In E.Fustec et J. C. Lefeuvre (Eds.). Fonctions et valeurs des zones humides. Dunod, 39-59.
- **BARZANJI A.F., 1973.,** GYPSIFEROUS SOIL OF IRAK .Thèse de doctorat. GENET. 1999 p
- **BARRIUSO E., CALVET R., SCHIAVON M., SOULAS G, 1996.** Les pesticides et les polluants organiques des sols. Transformation et dissipation. Forum le sol, un patrimoine menacé Paris (France), 279-292
- **BENSAID A., 2006.** SIG et télédétection pour l'étude de l'ensemble ment dans une zone aride : le cas de la wilaya Naama (Algérie).thèse doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble 1, France. pp288.

- **BENZECRI JP, 1973.** L'ANALYSE DES DONNEES. TOME II, L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES. DUNOD, PARIS.
- **BERTOUILLE S., 1978.** Absorption et localisation du cadmium chez le soja. Mémoire de
- **BEDDIAF H., 2014.** La qualité des eaux sur les conduites de réseau d'AEP de les régions ( HMD-Touggourt)
- **BOLYN J., 1974.** Contribution à l'étude de tolérance des plantes ligneuses à la salure. Thèse, Doct. d'état. Gelbleoux , 262 p.
- **BOUCHESEICHE C., CREMILLE E., PELTE T., POJER K , 2002.** Pollution toxique et écotoxicologique : notions de base. Guide technique N°7. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Montpellier (France).
- **BOUDOUKHA, A.R.,1988 ,** Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère fermé d'El.Eulma – Ain Lahdjar ( région Est de Sétif – Algérie), Thèse, Doctorat,Univ. BESANÇON, 186 p.
- **BOUMEZBEUR A., 2004,** Atlas des zones humides algériennes. *DGF*. pp120.
- **BOUHNİK-LE COZ M., PETIJEAN P., SERRAT E., 2001.** Validation d'un protocole permettant le dosage simultané des cations majeurs et traces dans les eaux douces naturelles par ICPMS. Imp. Univ. Rennes: Géosciences-Rennes. ISBN : 2-914375-01-8
- **BOULAINÉ J., 1953.** Les lunettes des basses plaines Oranaises, formations éoliennes liées à l'extension des sols salins, la Sebkhia de Beni-Ziane, la dépression du Chantrit. Comm. au IV congrès de l'I.N.Q.U.A., Rome.
- **BOURRELIER, 1998.**Contamination des sols par les éléments en traces - Les risques et leur gestion. Académie des Sciences - Techniques et documentation, Paris, 440p.
- **BOURRELIER P., BERTHELIN, 1998.** "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris.
- **CALVET R., 2003.** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole. pp511.
- **CHAIGNON V., 2001.** Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse : Ecole doctorale, Sciences de l'Environnement : Système Terre, Université d'Aix-Marseille.
- **CHARIFI M et HARKATI H ., 2012,** Application du SIG et de la télédétection dans la cartographie des habitats de la forêt de Boutaleb (Sétif), cas des plantes médicinales. Mémoire de master, Université FERHAT ABBAS – SETIF.
- **CHERNET T., TRAVI Y., VALLES V., 2001.** Mécanisme of dégradation of the quarel water in the lak region of the ethiopian rift vally . water reserch .35(12).2819-2832 .
- **CHEVERRY C., 1974.** Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride. Dans des sédiments argileux et organiques. Thèse Doct., Univ. Louis Pasteur Strasbourg, 175 p.

- **CITEAU L., 2008.** Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines. Rapport pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie, INRA Ed., 103 p.
- **CITEAU L, 2004.** Etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires de sols contaminés : relation entre nature des colloïdes et réactivité vis-à-vis des métaux (Zn, Cd, Pb, Cu). Thèse de doctorat de l'Institut National d'Agronomie Paris-Grignon
- **CLEMENT B., TOUFFET J., 1987.** Typologie et diagnostic phytoécologie des zones humides de Bretagne. Phytosociologie et conservation de la nature. Strasbourg. pp : 318 – 347.
- **COSTANZA R., D'ARGE R., DE GROOT, FARBERK S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R V., PARUELO J., RASKIN R.G., SUTTONK P et VAN DEN BELT M., 1997.** The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387. pp253-260.
- **CUCHEROUSSET J., 2006.** Rôle fonctionnel des milieux temporairement inondés Pour l'ichtyofaune dans un écosystème sous contraintes anthropiques : approches communautaire, populationnelle et individuelle. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 278 p.
- **DELAUNE, SPARKS D.L., LIBERATI M R., HUANG CP., 1991.** Environmental soil chemistry. Academic Press, 267 p,
- **DENEUX-MUSTIN S., ROUSSEL-DEBET S., MUSTIN C., HENNER P., MUNIER-LAMY C., COLLE C., BERTHELIN J., GARNIER-LAPLACE J., LEYVAL C, 2003.** Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol. TEC & DOC, Paris.
- **DERACHE R., 1989.** Toxicologie et sécurité des aliments. Paris: Tech Doc-Lavoisier,. 159-78.
- **DGF, 2004.** Atlas IV des zones humides algériennes d'importance internationale.
- **DGF, 2002.** Atlas des zones humides algériennes d'importance internationale.
- **DJABRI H., 1980.** Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels du périmètre irrigué du haut Cheliff. Thèse. Ing. Agro. 60 p.
- **DJABRI H., 1984.** Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels du périmètre irrigué du haut Cheliff. Thèse. Ing. Agro. 60 p.
- **DJEBAILI S., 1984** , Recherches phytosociologiques et écologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas Sahariens Algériens. Office des Publications Universitaires, Alger.
- **DROUBI A .1976;** géochimie des sels et des soltion concentré par evaporation modele thermodynamique de simulation application daux sols salées du tchad-mémoire des sciences géologique .46, 177p
- **DUCHAUFFOUR P H, 1997.** Abrégé de pédologie : sol, végétation, environnement, 5è édit. Masson, 291 p.
- **DUCHAUFFOUR P., 1977.** Pédogénèse et classification. Ed. MASSON & CIE, Paris.

pp 477.

- **DUGAN P.J.**, 1993. Wetlands in danger. A World Conservation Atlas. IUCN, London, 187 pp.
- **DURANT J.H.**, 1983. LES SOLS IRRIGABLES. ETUDE PODOLOGIQUE. Edition Boudin, Paris. 339 p.
- **FAO**, 1990. Management of gypsiferous soils. Bulletin n°62, F.A.O Rome. pp81.
- **FEIXE TREMEL-SCHAUB A.I.**, 2005. Contamination des sols Transfert des sols vers les plantes , Revue science France.
- **FERNÁNDEZ-TURIEL J.L., LÓPEZ SOLER , ÁNGEL, LLORENS J F., QUEROL., XAVIER., ACEÑOLAZA ., PABLO G., DURAND F., LÓPEZ J P., MEDINA MARÍA E., ROSSI J N., TOSELLI A J., SAAVEDRA A J**, 1995. Environmental monitoring using surface water, river sediments, and vegetation: A case study in the Famatina Range, La Rioja, NW Argentina, DIGITAL.CSIC (INA-PG).
- **FLACHIER A., TARRAS-WAHLBERG N.H., LANE S.N., SANGFORS D.**, 2001. Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: The Puyango River basin, southern Ecuador. *Sci Total Environ* ; 278 : 239-61.
- **FRITZ B.**, 1975. Etude de thermodynamique et simulation des réactions entre minéraux et solutions. application à la géochimie des altérations et des eaux continentales *sci. géo .mémoire* ; 41:152p
- **FREDEEN R E., PUGH D G., DICK A L**, 2005. Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the Anvil Range lead/zinc mine, Faro, Yukon Territory, J. *Ecotoxi. Environ. Safety* 52 (2002) 273-279.
- **GALVEZ-CLOUTIER, R.**, 1995. Study of heavy metal accumulation mechanisms in the Lachine canal sediments. Thèse de doctorat. Université Mc Gill , Montréal.
- **GAUJOUS D.**, 1995 : La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire, 2e édition: Tec et Doc : 15-174.
- **GLEMIE B ., LITTLYOHN C ., GENDEBIEN A ., HAYES A ., PALFREY R ., SIRIL AND WEIGHT M**, 2002. Phosphate and alternative detergent builders –final report .eu environment directorate.
- **GILLER E K., WITTER E., MCGRATH PS**, 1998. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils. *Soil. Biol. Biochem.* 30, 1389-1414.
- **GODIN P M., FEINBERG M H., DUCAUZE C.J.**, 1985. Modelling of soil contamination by airborne lead and cadmium around several emission sources. *Environ. pollut.* 10, 97-114.
- **GODIN P.**, 1983. Traina. Trace metals in agricultural soils. In *Metals in groundwater*, Edition Lewis Publishers; p309.
- **GOSSELIN M. et PAILLET Y.**, 2010. Mieux intégrer la biodiversité dans la gestion forestière. Ed Quae, versailles. pp 160.



- **GRILL P, GAUTHIER V, YAVERROVSKI N, PERENNOU C;2004** : Les mares temporaires méditerranéennes .Volume I : Enjeux de conservation, fonctionnement et gestion.
- **GUET G, 2003**. Memento d'agriculture biologique, 2<sup>ème</sup> Edit. ISBN, Paris. pp280.
- **HALTIM A, 1973**. Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse. Doct. Univ. Rennes, France, 176 p + annexes.
- **HAMMADA S ., DAKKI M ., IBN TATTOU M ., OUYAHIA A ., FENNANE M, 2004**.Analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc. Flore rare, menacée et halophile.Acta Botanica Malacitana 20, pp : 43 – 66.
- **HARRAG A M, 1998**. Etude phytosociologique de la végétation halophile des bassins fermés (Sebkhas et Chotts) de la région de Sétif. Composition, structure, syntaxonomie et biodiversité, mem. de Magister. Univ. Sétif, 152 p + annexes.
- **HENIN S ,1976**.cours de physique du sols .edition oustom paris.159 p
- **HOUBA V., VAN DER LEE J., NOVOZANSKY L .1995**. Soil and plant analysis a series of syllabi. Part 5b : soil analysis procedures , other procedures wageningen : departement of soil science and plant nutrition , agricultural university .
- **HOUEYOU H.N., 1993**. Salt – tolerant plants for the arid regions of the Mediterranean isoclimatic zone. In : H. Leith & A. AL Masoom (edits) : Towards the rational use of high salinity tolerant plants. Vol. 1, pp : 403 – 422. Kluwer, academ. Publish. Printed in the Netherlands.
- **HULIN M, 1983**. Cours de drainage agricole. Vol. 3, irrigation – drainage et salinité. I.N.A.El.Harrach. Alger. pp117.
- **KAABECHE M., GHARZOULI R ., GEHU J M, 1993**. Observations phytosociologiques sur le Tell et Les Hautes Plaines de Sétif (Algérie). Documents Phytosociologiques. N.S. XV. Camerino.
- **KABATA-PENDIAS A., H PENDIAS , 1991**. Trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton.
- **KESSABI M ., EL HRAIKI A ., SABHI Y., BERNARD P., BUHLER DR., 1992**.Contamination par le cadmium, le chrome, le mercure et le plomb des produits de la pêche marocaine prélevés en mer Méditerranée. Rev Med Vet. 143 : 49-56.
- **KITAMURA S, 1971**. Mercury in the Adriatic. Mar Pollut Bull ; 2 : 56-8.
- **KOUL N, 2015**. Etude phytoécologique spatiotemporelle des zones humides du Nord-est du Sahara septentrional algérien (Région de Ouargla et de l'Oued Righ). THESE en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques de L' université Kasdi Merbah Ouargla.
- **KRAIEM H , 2002**. Biophysical and Socio-economic Impacts of Climate Change onWetlands in the Mediterranean. Mediterranean Roundtable, Athens.
- **LALANNE F, 2006**. Etude des potentialités du lavage biologique pour le traitement d'un mélange complexe de composés volatils. Thèse de Doctorat. L'université de Pau et des Pays de l'Adour (France).

- **LAMY I , 2002** . Réactivité des matières organiques des sols vis-à-vis des métaux. Journées nationales de l'étude des sols. p 22.
- **LI Y., LI R, 2000**. The role of clay minerals and effect of H<sup>+</sup> ions on removal of heavy metal (Pb<sup>2+</sup>) from contaminated soil. *Can. J. Geotech/Rev.* 37, 296-307. licenciés en sciences botaniques, Université catholique de Louvain, 68 p.
- **LOUE A, 1993**. OLIGO-éléments en agriculture. Ed. Nathan (ed), 45-177.
- **LOYER J , 1991**. classification des sols salées .les sols salic .vol XXVI . n=1 51-55p
- **LOYER J Y, 1990**. Les sols salsodiques, présentation du référentiel pédologique au congrès international de science du sol. TOKYO, 7ème Version. pp : 193 – 195.
- **LOZET ET MATHIEU, 1990**. Dictionnaire de science du sol. Technique et documentation ; Lavoisier. Paris
- **MACHANE Y , 1990**. Bilan d'étude sur les sols salés de la wilaya de Sétif et caractérisation des niveaux DE salinité de la zone pilote (Guellal). Mém. d'ing. d'état. Univ. Sétif. 75 p + annexes.
- **MARCOS L, 2001**. Etude expérimentale et modélisation du transfert du zinc et du plomb dans les milieux sableux modèles. Thèse de doctorat, université de Nantes., p. 281. metals by soil. *J. Environ. Qual.* , 2005, Vol. 15, pp. 214-219.
- **MARLETS ., et JOB, 2006**. Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R. Traité d'irrigation, seconde édition. Tec & Doc Lavoisier. ISBN-13. 978-2743009106.
- **MIQUEL M, 2001**. Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques., N° 2979 Assemblée Nationale, N°261 Sénat.
- **MATHIEU C., PIELTAIN F., 2003**. Analyses chimiques des sols : méthodes choisies. *Lavoisier*, 387 p.
- **NOMIYAMA K, 1973**. Toxicity of cadmium mechanism and diagnosis. Proceeding of the international conference Health. Nashville (Tennessee) Pergamon Press, 15-23. New York: Elsevier. 170-82.
- **OZENDA P, 1983** . Flore du Sahara 2ème Ed. CNRS. Paris. pp 627.
- **PENDIAS –KABATA , 2001**. Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition. CRC Press, Boca Raton, USA..
- **POZZI A, 2011**. La biodiversité et ceux qui la préservent. Ed. Harmattan, Paris, 204 p.
- **PURVES D, 1977**. Trace element contamination of the environment. Amsterdam; Oxford;
- **RAMADE F, 1979**. Ecotoxicologie. (2ème édition). Masson, Paris.
- **RAMADE, 1993**. Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'environnement. Paris, France: Edition Science, p822.
- **RAMSAR , 2014**. Les zones humides et l'agriculture comme thème de la Journée mondiale des zones humides .
- **RAOUL C, 2003**. le sol propriété et fonction, édition France agricole.

- **ROBERT M ., JUSTE C, 1999.** Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol. In Club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement. Spéciation des métaux dans le sol. Paris: CRIN.
- **ROBERTS J, 1989.** Cytoplasmic acidosis and flooding tolerance in crop plants. In *The Ecology and Management of Wetland Plants*, Vol. 1 , D. D. Hook et al., Portland, OR. Timber Press: 392–397.
- **RODIER J., 2005.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie. *Dunod, Paris, 1383p.*
- **ROONY CP ., MCLAREN RG ., CRESSWEL RJ, 1999.** Distribution and phytoavailability of lead in soil contaminated with lead shot. *Water Air and Soil.* 116 : 535-48.
- **SANDERS J R ., MCGRATH S P., ADAMS TM ,1986.** Zinc, copper and nickel concentrations in ryegrass grown on sewage sludge-contaminated soils of different pH. *J. Sci. Food Agr.* 37, 961-968.
- **SARKAR S ., SAHA M ., TAKADA H ., MISHRA B ., BHATTACHARYA B., BHATTACHARYA A , 2007 .** water quality management in the lower stretch of the river ganger , east coast of india :through environmental education jorngl of cleqner production vol , 15: 1559-1567.
- **SERVANT J., SERVAT E ,1966.** introduction a l'étude des sols salés de languedoc-roussillon. *ann.agro.*,17(1) pp 53-73.
- **SHALLARI, 1997 .**Influence of long-term heavy metal contaminations on microbial communities in soil. *Soil Biol. Biochem.* 33, 287-295.
- **SIMONEAU P, 1960.** Influence de la salinité sur les cultures et les plantes en Afrique du Nord. *Rapports de sol et de végétation.* pp : 114 – 149.
- **SINGH O V., LABANA S ., PANDEY G ., BUDHIRAJA ., JAIN R K. , 2003.** Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 61, 405-412.
- **SKINNER J., ZALEWSKI S , 1995.** Fonctions et valeurs des zones humides méditerranéennes. *Booklet Medwet/Tour du valat*, N 2, France, 80p.
- **TACON F,1976.** La présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l'Épicéa commun (*Picea excelsa* Link) et du Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra nigricans* Host). Thèse de doctorat d'Etat. Institut National Polytechnique de Lorraine Nancy, 150 p.
- **TOUFFET B , 1982.** Contribution à l'étude des zones humides de Bretagne. *Bull. Ecol.*, 13, pp :329 – 338.
- **VAN REEUWIJK L. P., 1987.** Procedures for soil analysis. *ISRIC, N 9, Second Edition, 13-14.*
- **VILA JM, 1977.** Cartes géologiques, feuille n° 118 Bir El Arch, feuille 145 Boughzel, feuille n°144 Ain Lahdjar. Edit. Sonatrach.
- **VILA JM , 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algero-Tunisiens. Thèse. Doctorat ; Paris VI, 66 p.

- **VILAIN M., 1999.** Méthodes expérimentales en agronomie : Pratique et analyse. Ed. Technique et documentation, Paris, 337 p.
- **U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (USSL), 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Hand book n° 60, 160 p.annexes
- **ZAAFOUR ., DJALIL , 2012.** Impact des décharges sauvages sur les Zones Humides de la région d'El-Taraf. Thèse de Magister. Université BADJI-MOKHTAR-ANNABA. Pp 69.

# Annexe

## ANNEXE 01:

### La description des profils :

#### Profil 01:

**Horizon 01:** de 0 à 24 cm, couleur 2.5 Y 5/3. Caractérisé par une texture assez argileuse. La présence d'une effervescence de forte intensité qui est généralisée. Les propriétés mécaniques très fragile, très friable et peu compacte. Les traces d'activité biologique sont peu nombreuses avec des galeries de rongeurs. Les pores des agrégats sont très fins et peu nombreux et des conduit de vers peu nombreux, orienté verticalement. L'horizon est peu poreux.

**Horizon 02:** de 24 à 58 cm, couleur 7.5 Y 5/2. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques très plastique, très collant, ferme, compact et humide. La présence de nombreuses taches rouges d'oxydation de dimension moyenne, distribué dans la masse et autour des pores. Caractérisé par des traces d'activité biologique peu nombreuses et des pores de l'agrégat très fins, des conduits de vers peu nombreux et orientés verticalement.

**Horizon 03:** de 34 cm à 96 cm, couleur 5 Y 8/1. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques peu plastique, peu collant, extrêmement ferme, très compact.

**Horizon 04 :** supérieur à 96 cm, couleur 5Y 7/2. Caractérisé par une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques très plastique, très collant, ferme et très compact, la présence d'assez nombreux cristaux de carbonate de calcium de dimension moyens.



**Profil 02 :**

**Horizon 01:** de 0 cm à 18 cm, couleur 10YR 6/3. Caractérisé par une texture assez argileuse, une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques très fragile, très friable et peu compact. Les traces d'activité biologique sont peu nombreuses avec des galeries de rongeurs. Les pores des agrégats sont très fins et peu nombreux, des conduits de vers peu nombreuse et orienté verticalement. L'horizon est peu poreux.

**Horizon 02:** de 18 cm à 46 cm, couleur 10YR 6/2. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques compactes. La présence d'assez nombreuses taches rouges d'oxydation de dimension peu



moyenne. Caractérisé par des traces d'activité biologique peu nombreuse, et des pores de l'agrégat très fin peu nombreux, des conduits de vers peu nombreuse et orienté verticalement. Les traces d'activité biologique sont peu nombreuses avec des galeries de rongeurs, La présence de peu nombreuses taches rouges de dimension moyenne qui sont distribué dans la masse. L'horizon est peu poreux.

**Horizon 03 :** de 46 cm à 91 cm, couleur 10YR 7/2. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques plastique, collant, très ferme, très compact et frais, La présence d'assez nombreux cristaux de carbonates de calcium de dimension moyenne, les pores des agrégat sont très fins et peu nombreux .

**Horizon 04 :** supérieur à 91 cm, couleur 10YR 7/3. Caractérisé une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécanique très plastique, très collant, très ferme, très compact et humide. La présence d'assez nombreux cristaux de carbonate de calcium de dimension moyenne.

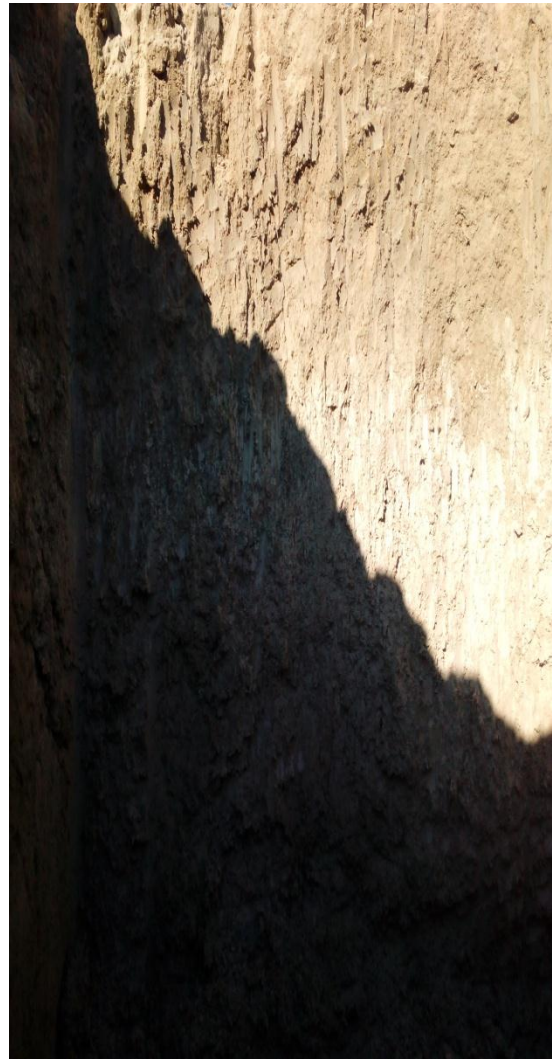
**Profil 03 :**

**Horizon 01 :** de 0 cm à 15 cm, couleur 10YR 5/2. Caractérisé par une texture assez argileuse, une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques très fragile, très friable, peu compacte et frais, une structure lamellaire. Les traces d'activité biologique sont peu nombreuse avec des galeries de rongeurs. Les pores des agrégats sont très fins et peu nombreux, conduits de vers peu nombreux et orientés verticalement. L'horizon est peu poreux.

**Horizon 02:** de 15 cm à 39 cm, couleur 10YR 5/3. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité modérée qui est généralisée, des propriétés mécanique peu compact et frais , une structures particulière, La présence d'assez nombreuses taches rouges d'oxydation de dimension moyenne, les traces d'activité biologique sont peu nombreuses avec des galeries de rongeurs, conduits de vers peu nombreuse et orientés verticalement. L'horizon est peu poreux.

**Horizon 03:** de 39 cm à 78 cm, couleur 5Y 8/1. Caractériser par une texture argileuse, une effervescence d'intensité modérée qui est généralisée, des propriétés mécaniques plastique, collant, ferme, très compact et humide, La présence d'assez nombreux cristaux de carbonate de calcium de dimension moyenne.

**Horizon 04:** supérieur 78 cm, couleur 7.5Y 8/1. Caractérisé par une effervescence d'intensité modérée qui est généralisée, des propriétés mécanique très plastique, très collant, très ferme, très compact et très humide. La présence d'assez nombreux cristaux de carbonate de calcium de dimension moyenne.





**Profil 04 :**

**Horizon 01 :** de 0 cm à 32 cm, couleur 2.5Y 7/2. Caractérisé par une végétation halophyte, une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques fragiles, peu compacte et sec, une structure lamellaire, la présence de pseudo mycélium de  $\text{CaCO}_3$ , les traces d'activité biologique sont très nombreuses sous forme de racines décomposées et matière organique moyenne et faiblement altérées avec des racines nombreuses localisées dans les agrégats et dans la masse et orientées verticalement. Les pores des agrégats sont fins et nombreux, conduits de vers nombreux et orientés verticalement. L'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 02 :** de 32 cm à 51 cm, couleur 5Y 5/1. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques peu compact, fragile et sec, une structure polyédrique subanguleuse, la présence de pseudo mycélium de  $\text{CaCO}_3$ . Les traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées, charbon de bois, coquilles et matière organique de taux moyen et faiblement altérées avec des racines nombreuses localisées dans les agrégats orientées verticalement, conduits de vers nombreux et orientés verticalement. L'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 03 :** de 51cm à 111 cm, couleur 7.5 Y 8/1. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques très peu dur, compact et sec.

**Horizon 04 :** supérieur à 111cm, couleur 2.5 Y 8/2. Caractérisé une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécanique dur et frais.



**Profil 05:**

**Horizon 01** : de 0 cm à 48 cm, couleur 5 YR 4/4. Caractérisé par une végétation halophyte, une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques fragile, meuble et sec, une structure lamellaire, la présence de pseudo mycélium de  $\text{CaCO}_3$ . Les traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées et une matière organique très forte et faiblement altérées. Des racines très nombreuses qui sont localisées dans la masse et orientées verticalement. Les pores des agrégats sont fins. Les conduits de vers sont nombreux et orientés verticalement. L'horizon est moyennement poreux

**Horizon 02** : de 48 cm à 134cm, couleur 10 YR 3/2. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques peu compact, peu fragile et sec, une structure polyédrique subanguleuse, les traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées et charbon de bois et une matière organique extrêmement forte très altérées. Les racines sont nombreuses et localisées dans les agrégats, orientées verticalement, des conduits de vers nombreux et orientés verticalement. L'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 03** : supérieur à 134 cm, couleur 5Y 8/1. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques légèrement dur, compact et sec. Les racines sont très peu nombreuses dans la masse et orientées verticalement.



**Profil 06 :**

**Horizon 01 :** de 0 cm à 44 cm, couleur 5 YR 4/4. Caractérisé par une végétation halophyte, une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. Les propriétés mécaniques peu fragile, meuble, peu compact et sec. Une structure lamellaire, la présence de pseudo mycélium de  $\text{CaCO}_3$ , les traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées et matière organique très forte, faiblement altérées. Les racines sont très nombreuses localisées dans la masse et dans les agrégats, orientées verticalement, les pores des agrégats sont fins et nombreux, conduits de vers nombreux et orientés verticalement, l'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 02 :** de 44 cm à 94 cm, couleur 10 YR 3/2. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques compact, peu fragile, très peu dur et sec, une structure polyédrique subanguleuse, la présence de pseudo mycélium de  $\text{CaCO}_3$ , les

traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées et charbon de bois et une matière organique extrêmement forte, faiblement altérées avec des racines nombreuses localisé dans les agrégats et dans la masse orientées verticalement. Les conduits de vers sont nombreux et orientés verticalement. L'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 03 :** supérieur à 94 cm, couleur 5 Y 8/1. caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques légèrement dur, compact et sec avec des racine très peu nombreuses dans la masse et orientées verticalement.



**Profil 07 :**

**Horizon 01** : de 0 cm à 46 cm, couleur 7.5 YR 4/4. Caractérisé par une végétation halophyte, une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques peu fragile, meuble, peu compact et sec, une structure particulaire, les traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées. La matière organique très forte et faiblement altérées avec des racines très nombreuses localisées dans la masse et dans les agrégats orientées verticalement, les pores de l'agrégat sont fins et nombreux, conduits de vers nombreux et orientés verticalement et horizontalement. L'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 02** : de 46 cm à 98 cm, couleur 10YR 3/1. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques compact, dur est sec, une structure polyédrique subanguleuse, une matière organique extrêmement forte faiblement altérées avec des racines nombreuses qui sont localisées dans les agrégats et dans la masse et orientées verticalement. Les traces d'activité



biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées et charbon de bois, et coquilles, conduits de vers nombreux et orientés verticalement, l'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 03** : supérieur à 98 cm, couleur 5Y 8/1. Caractériser par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques très dur, compact et sec.

**Profil 08 :**

**Horizon 01 :** de 0 cm à 43 cm, couleur 5YR 4/3. Caractérisé par une végétation halophyte, une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques peu fragile, pas de dureté, peu compact et sec, une structure particulaire, les traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées, présence de coquilles. La matière organique est très forte et faiblement altérées, les pores des agrégats sont fins et nombreux. Les conduits de vers sont nombreux et orientés verticalement et horizontalement avec des racines très nombreuses qui sont localisées dans la masse et dans les agrégats et orientées verticalement. L'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 02 :** de 43 cm à 96 cm, couleur 10YR 3/2. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques compact, dur et sec, une structure polyédrique subanguleuse. La matière organique est extrêmement forte et faiblement altérées avec des racines nombreuses qui sont localisées dans les agrégats et dans la masse et orienté verticalement. Les traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des racines décomposées et charbon de bois, la présence de coquilles, les conduits de vers sont nombreux et orientés verticalement et horizontalement. L'horizon est moyennement poreux.

**Horizon 03 :** supérieur à 96 cm, couleur 5 Y 8/1. Caractérisé par une texture argileuse, une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques très dur, compact et sec avec des racines très peu nombreuses dans les agrégats, et orienté verticalement.



**ANNEXE 02:****Tableaux I : pourcentage des anions dans la solution du sol**

Cl <sup>-</sup> (%)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (%)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (%)	BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)
84,61	9,65	0,08	3,66	0,16	1,81	0,02
74,75	10,51	0,09	11,48	0,30	2,86	0,01
67,58	8,36	0,14	19,48	0,26	4,16	0,02
79,77	14,12	0,09	3,72	0,27	1,99	0,04
54,94	9,73	0,14	8,91	0,20	26,04	0,04
71,29	17,72	0,16	7,99	0,29	2,52	0,03
66,88	18,69	0,21	7,58	0,36	6,24	0,04
73,71	17,46	0,13	5,58	0,34	2,76	0,03
57,41	22,78	0,30	10,83	0,56	8,06	0,07
69,95	20,20	0,15	5,42	0,39	3,85	0,03
70,04	20,85	0,12	5,60	0,49	2,88	0,02
58,60	28,83	0,16	6,68	0,82	4,82	0,09
81,44	9,76	0,34	1,29	0,30	6,82	0,05
67,20	18,64	0,21	8,08	0,60	5,17	0,09
67,97	19,55	0,21	8,42	0,77	3,07	0,02
75,85	15,41	0,16	4,95	0,58	3,05	0,00
10,61	19,86	0,43	62,84	0,93	5,17	0,16
72,22	13,14	0,41	4,33	0,62	9,18	0,10
62,91	24,84	0,26	9,04	0,92	1,97	0,06
4,17	16,02	1,04	53,42	0,73	24,58	0,05
15,69	50,17	2,24	18,72	1,57	11,43	0,18
58,12	22,55	1,22	12,65	0,88	4,55	0,04
13,95	23,39	0,39	60,10	1,01	1,01	0,15
61,37	21,94	0,20	15,26	0,76	0,39	0,09
72,46	20,44	0,94	4,93	0,77	0,39	0,07
40,86	15,08	1,96	40,61	0,65	0,74	0,11
51,65	34,55	3,91	7,05	0,84	1,95	0,06
29,24	43,56	2,38	21,63	1,75	1,32	0,12

## Résumé

Chott EL fraïn est une zone humide qui fait partie de l'éco complexe des zones humides des hauts plateaux de l'Est algérien, et l'une des zones humides de la wilaya de Sétif classées sur la liste de Ramsar.

Le présent travail s'intègre dans le cadre de l'étude de l'état de pollution par les anions polluants (chlorures, nitrates, nitrites, orthophosphates...etc), et par les métaux lourds (Arsenic, cadmium, cuivre, chrome, Fer, manganèse, Nickel, plomb, sélénium, et Zinc) des sols salés de chott El Fraïn.

Cette étude a permis de caractériser les sols de chott El fraïn par l'analyse du pH, CE, Calcaire, gypse, MO, humidité à saturation. Elle a montré que les sols de chott El Fraïn présentent une pollution par les chlorures, les nitrates, les nitrites, les orthophosphates et les borates. Les sols de la région ne sont pas pollués par les métaux lourds.

**Mots clés:** zones humides, Chott El Fraïn, salinité, pollution des sols, métaux lourds, anions solubles.

## المخلص

شط فرعين هو جزء من الأراضي الرطبة بمرتفعات الهضاب العليا شرق الجزائر بولاية سطيف و المصنفة في قائمة رامسار، يشكل هذا العمل جزءا من دراسة حالة التلوث بالملوثات الشوارد (الكلور والنترات والنترت، الفسفات... الخ)، والمعادن الثقيلة (الكاديوم والنحاس والكروم والحديد والمنغنيز والنيكل، والرصاص، والسيلينيوم، والزنك) للتربة المالحة شط فرعين.

سمحت هذه الدراسة إلى تحديد خصائص التربة لشط فرعين من خلال تحليل درجة الحموضة، والحجر الكلس، الجبس، المواد العضوية، تشبع الرطوبة. وبينت ان تربة شط فرعين لها التلوث بالكلور والنترات والنترت، و الفوسفات والبورات. ولا يوجد تلوث للتربة في المنطقة بالمعادن الثقيلة.

الكلمات المفتاحية: المناطق الرطبة. شط فرعين. الملوحة. تلوث التربة. المعادن الثقيلة. الشوارد.