



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 l'état de pollution
des zones humides
Cas de «sebkha Bazer» wilaya de Sétif*

Présenté par :

BELMERABET Zineb

BENHANAYA Bochra

BOUBAKEUR Souhila

Devant le jury :

Président : SOUFANE S.

MAA (Univ Mohamed El Bachir El Ibrahimi)

Encadrant : LAOUFI H.

MAA (Univ Mohamed El Bachir El Ibrahimi)

Examineur 1 : REGUI C.

MAA (Univ Mohamed El Bachir El Ibrahimi)

Année universitaire : 2015/2016

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 **Mme SOUFANE S.** Maitre 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.** Maitre 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 géochimie, 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 REGUI C.** 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 : **Fouad, 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.

Merci à tous.



Dédicaces



Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et la patience d'aller jusqu'au bout de rêve et le bonheur de lever mes main vers le ciel et de dire « ya Kayoum »

Je dédie ce modeste travail

A ma source de tendresse et la fontaine de la compassion, A la lumière de mes jours, la flamme de mon cœur l'être la plus chère dans le monde, la femme la plus patiente. Ma chère mère « saliha » qui ma soutenue à tous moments. Je leur dis «la vie sans toi rien».

A mon chère grand père « rabeih » et ma chère grand mère «zohra »

A mes cousins et mes cousines spécialement «rahil, asma, abd raouf »

Sans oublier nadia et soumia

A tous ma grande Famille « zidoune, kirouiani, ghodbane, ramdani »

A mon trinôme« souhila » et «bouchra» et sa famille

A mes collègues et mes chères amies qui souhaite leur rappeler toujours «zahra, nesrine, nesrine, merieme, saliha, amani, fadila, ayacha, sameh ».

Et a mon marier radhouane

A toutes les étudiants de S.N.V surtout spécialité «Biodiversité et conservations des écosystèmes »

À tous mes enseignants.

A tous ceux qui m'aiment

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation

zineb



Dédicace



*Je remercie avant tout ALLAH- le tout puissant- de m'avoir guidé
durant toute ma formation.*

*A la mémoire de mon très chère père dont je regrette son absence en ce
jour si important pour moi.*

*A ma mère qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tout
son amour pour reprendre mes études.*

A mon frère Saleh, Daoud et Marouan

A mes sœurs : Rima, Hayat et Mounira

A mes poussins Roufai nour yakim et rahaf nour sine

*A tous mes chères amis : Zahra, Nesrine, Noura, Farhet, Messoud,
Outba.*

A tous la famille Boubakeur Et Gendouze

A mes collègues de travail: Zineb et Bouchra

*A tout mes collègues .Sans oublier tous les professeurs que ce soit du
primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.*



Souhila

Dédicace



L'offre de fruit de mes progrès durant toutes ces années à tous ceux que j'aime.

A la source de tendresses et d'amour et de joie. Ma très chère mère <Khadidja> qui ma soutenue à tous moments je te dire " la vie sans toi rien".

A mon très cher père qui ma donné la force et le courage afin d'accomplir ce travail et l'aidé à marcher dans cette vie et attend avec impatience mon succès <Slimane>. Je souhaite à Dieu de prolonger votre âge.

A ma très belle ange RIFEDJ

A mon marie oussama et sa famille.

A mes trois adorables soeurs et bougies de ma vie qui dessiner un sourire sur mes lèvres:< Salima, Fouzia et Ahleme >.

A mes frères qui les aiment et les plus chers:<Athmen et Walid>.

A tous les poussins et les piliers de la vie <Rihana, Islem, Louay, Mouni, Takwa, Aridje, Taki Eddine, Montassir bi allah, Maya, Anass mohib eddine,djinane,mirale>

A : Ali, Djamel, Ficham, Hayate, et naima

A toute la famille « Benhanaya et Grina »

A toutes mes amies que souhaite leur rappeler toujours : <Asma, Meriem, Kenza, Maria,Samira, Dalele, khalisa,Khayro,aicha, siheme, khadidja >.

A mes collègues de travail: souhila et zineb

A tous les étudiants de Biologie surtout <biodiversité> du moyen



Bouchra

Liste des abréviations

Symbole	Signification
p^H	Potentiel hydrogène
OMS	Organisation mondiale de la santé
MES	Matière en suspension
ACP	Analyse en Composantes Principales
C°	Dégrées Celsius
Ca⁺⁺	Ion de Calcium
CaCO₃	Calcaire total (Carbonate de calcium)
CE	Conductivité électrique
CEC	Complexe d'échange cationique
Cl⁻	Chlore
ds/m	Déci-siemens/ mètre
HCL	Acide Chlorhydrique
HCO₃⁻	Bicarbonate
Méq/l	Milliéquivalents par litre
SO₄⁻	Sulfate
NO₂⁺	Nitrite
NO₃⁻	Nitrate
Pb	Plomb
Zn	Zinc
Ni	Nickel
Cr	Chrome
Cd	Cadmium
As	Arsenic

Se	Sélénium
Mn	Manganèse
MO	Matière organique
Fe	Fer
Caco	Carbonate de calcium
NaCl	Chlorure de sodium
Cu	Cuivre
BaSO₄	Sulfate de baryum
ICP-MS	Spectromètre de masse à plasma à couplage inductif
BO₃	Bore
HCl	carbonate de calcium
PO₄	Phosphore
HCO₃	Bicarbonate
Cl	Chlorure
H	Horizon
P	profil
ms/m	Milli semence par mettre
GRHMSM	Gestion Des Ressources Hydriques Manitoba Et Sante Manitoba
ONUAA	Organisation Des Nation Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture

La liste des tableaux

N°	Tableau	Page
I	La toxicité des métaux et leurs différentes formes	22
II	Température annuelle de Sétif pendant la période (1990-2010).	37
III	Répartition moyennes mensuelle des précipitations (Sétif) (1990-2010).	38
IV	Moyennes Mensuelles de la vitesse du vent (m /s) pondant la période (1990 - 2010)	40
V	Les coordonnées géographiques des profils pédologiques	42
VI	Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de sols prélevés sur les huit profils pédologiques	51
VII	Les résultats analytiques des anions dans la solution	58
VIII	Matrice de corrélation	82
IX	Les concentrations des métaux lourds dans les échantillons de sol en (ppm)	83

La liste des figures

N°	Figure	Page
01	Situation géographique de la sebkha de Bazer-Sakra (ANONYME, 1977)	29
02	Réseaux hydrographique de la sebkha de Bazer-Sakra (1/50 000)	31
03	Diagramme ombrothermique de la station de Sétif (1990-2010)	34
04	Toposéquence étudiée (Google Earth)	37
05	Les étapes de digestion et de dosage des métaux lourds	43
06	Représentation du pH des échantillons de sol	44
07	Représentation de la conductivité électrique des échantillons de sol	45
08	Représentation du calcaire total des échantillons de sol	46
09	Représentation du gypse des échantillons de sol	47
10	Représentation de la matière organique des échantillons de sol	48
11	Représentation de l'humidité à saturation des échantillons de sol	49
12	Représentation de la concentration en chlorure des échantillons de sol	51
13	Représentation de la concentration en sulfate des échantillons de sol	52
14	Représentation de la concentration en bicarbonate des échantillons de sol	53
15	Représentation de la concentration en nitrate des échantillons de sol	54
16	Représentation de la concentration en nitrite des échantillons de sol	55
17	Représentation de la concentration en orthophosphate des échantillons de sol	56
18	Représentation de la concentration en borate des échantillons de sol	56
19	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°01	58
20	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°02	59
21	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°3	61
22	Les profils de distribution des anions en fonctions de la profondeur du profil N°4	63
23	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°5	65

24	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°06	66
25	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°07	68
26	Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°08	70
27	Représentation des variables sur le plan F1 x F2 de l'ACP	72
28	Dendrogramme de la classification des différents horizons en fonction des Caractéristiques du sol selon la méthode de WARD.	74
29	Représentation de la concentration totale en chrome des échantillons de sol	76
30	Représentation de la concentration totale en manganèse des échantillons de sol	77
31	Représentation de la concentration totale en fer des échantillons de sol	77
32	Représentation de la concentration totale en nickel des échantillons de sol	78
33	Représentation de la concentration totale en cuivre des échantillons de sol	79
34	Représentation de la concentration totale en zinc des échantillons de sol	79
35	Représentation de la concentration totale en arsenic des échantillons de sol	80
36	Représentation de la concentration totale en sélénium des échantillons de sol	81
37	Représentation de la concentration totale en cadmium des échantillons de sol	81
38	Représentation de la concentration totale en plomb des échantillons de sol	82

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre I : synthèse bibliographique.	
1. Généralité sur les zones humides.....	3
1.1. Définition des zones humides	3
1.2. Les zones humides algériennes d'importance internationale (sites Ramsar).....	4
1.3. Les principales fonctions des zones humides.....	5
1.4. Principales menaces qui pèsent sur les zones humides	6
2. Généralité sur les sebkhas	7
2.1. Définition de la sebkhat	7
2.2. Les systèmes de Sebkhats	7
2.3. Classification des Sebkhats	8
2.3.1. Classification selon le bilan hydrologique	8
3. Les sols salés	8
3.1. Définition des sols salés	9
3.2. Origine des sols salés.....	9
3.3. Caractérisation des sols salés	10
3.4. Localisation des sols salés	10
4. La Pollution des sols	11

4.1. Les types de pollution de sol.....	11
5. La pollution du sol par les anions.....	12
5.1. Les nitrates et les nitrites.....	12
5.1.1. Définition	12
5.1.2. L'origine	12
5.1.3. La toxicité de nitrate.....	13
5.2. Les phosphates	13
5.2.1. Définition	13
5.2.2. L'origine.....	13
5.2.3. L'effet.....	13
5.4. Le chlorure.....	14
5.4.1. Chlore dans le sol	14
5.4.2. Toxicité par le chlorure.....	14
6. La pollution du sol par les métaux lourds	15
6.1. Définition des métaux lourds	15
6.2. Origine des métaux lourds	16
6.2.1. Origine naturelle.....	16
6.2.1.1. Les roches primaires	16
6.2.1.2. Les roches de la zone d'oxydation.....	16
6.2.1.3. Les sols.....	17
6.2.2. Origine anthropique	17
6.2.2.1. L'industrie	17
6.2.2.2. Les transports.....	17
6.2.2.3. L'agriculture.....	17
6.2.2.4. Les décharges de déchets ménagers.....	18
6.2.2.5. Les exploitations minière.....	18
7. Relations métaux lourds – Sol.....	18
8. Les métaux lourds étudiés.....	18
8.1. Fer.....	18
8.2. Le cadmium.....	19
8.3. Le chrome.....	19

8.4. Le cuivre.....	20
8.5. Le nickel	20
8.6. Le plomb.....	20
8.7. Zinc.....	21
8.8. Le manganèse	21
8.9. L'arsenic.....	21
8.10. Sélénium.....	21
9. La toxicité par les métaux lourds	22

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Présentation générale de la zone d'étude (Sebkhat Bazer wilaya de Sétif).....	33
1.1. Localisation de la région.....	33
1.2. Géologie.....	34
1.3. Pédologie de la sebkhat.....	35
1.3.1. Les salorthids ou sols salés.....	35
1.3.2. Les calsiorthids ou sols bruns calcaires.....	35
1.3.3. Les haploxerolls ou xérorendzines.....	35
1.3.4. Les Paléorthides	35
1.4. Hydrologie.....	35
1.4. Climat.....	37
1.5.1. La température.....	37
1.5.2. Précipitations.....	38
1.5.2.1. Précipitations moyennes mensuelles.....	38
1.5.3. Diagramme ombrothermique.....	39
1.5.4. Le vent.....	40
2. Matériel et Méthodes.....	40
2.1. Matériel.....	40
2.1. Phase bureau.....	41
2.2.Échantillonnage sur le terrain.....	41
3. Méthode.....	43
3.1. L'échantillonnage	43
3.2. Préparation des échantillons	43
3.2. Conservation Des Échantillons	44

3.3. Analyses au laboratoire.....	44
3.3.1. L'extrait de la pate saturée.....	44
3.3.2. Le pH Conductivité électrique (CE).....	44
3.3.3. Calcaire total (CaCO ₃)	44
3.3.4. Gypse.....	44
3.3.5. Matière organique	45
3.3.6. Bilan ionique.....	45
3.3.7. Analyse des métaux lourds.....	46
3.3.8. Principe de la technologie ICP-MS.....	48
3.3.9. Fonctionnement.....	49
4. traitement des données.....	49
4.1. Analyse en composants principales ACP.....	49
4.2. L'analyse factorielle des correspondances(AFC).....	50

Chapitre III : Résultats et Discussion

1. Caractérisation physico-chimique des sols de la sebkhat Bazer.....	51
1.1. Le ph.....	52
1.2. La conductivité électrique (CE).....	53
1.3. Le calcaire total (CaCO ₃).....	54
1.4. Le gypse.....	55
1.5. La matière organique	56
1.6. L'humidité à saturation.....	57
1.7. Les anions.....	58
1.7.1. Les Chlorure.....	60
1.7.2. Sulfate	61
1.7.3. Bicarbonate.....	61
1.7.4. Nitrate.....	62
1.7.5. Nitrite.....	63
1.7.6. Orthophosphate	64
1.7.7. Borate.....	65
1.8. Profils de distribution des anions en fonction de la profondeur	66
1.8.1. Profil N° 1.....	66
1.8.2. Profil N° 2.....	68

1.8.3. Profil N° 3.....	69
1.8.4. Profil N° 4.....	71
1.8.5. Profil N° 5.....	73
1.8.6. Profil N° 6.....	75
1.8.7. Profil N° 7.....	76
1.8.8. Profil N° 8.....	78
1.9. Analyse en composantes principales (ACP).....	80
1.10. AFC.....	82
1.11. Les résultats des métaux lourds.....	83
1.11.1. Chrome.....	84
1.11.2. Manganèse	85
1.11.3. Fer.....	86
1.11.4. Nickel.....	87
1.11.5. Cuivre	87
1.11.6. Zinc	88
1.11.7. Arsenic	89
1.11.. Sélénium	89
1.11.9. Cadmium	90
1.11.10. Plomb	91
2. Discussion générale.....	93
Conclusion.....	98

Annexes

Références bibliographique

Introduction générale

De par leur position d'interface entre milieu terrestre et milieu aquatique, les zones humides sont de véritables réservoirs de la biodiversité et figurent parmi les écosystèmes les plus riches d'un point de vue écologique. Les zones humides hébergent une diversité exceptionnelle d'espèces animales et végétales (**RAMSAR, 2000**).

Leurs fonctions biologiques, hydrologiques et biogéochimiques permettent également aux zones humides d'assurer un certain nombre de services parmi lesquels la régulation du régime hydrologique, l'atténuation des crues et des sécheresses, l'alimentation en eau, l'épuration de l'eau, la maîtrise de l'érosion, le captage des matières nutritives, des sédiments et des polluants, ou encore la séquestration et le stockage de carbone, qui jouent un rôle essentiel dans le contexte des changements climatiques (**COSTANZA et al., 1997**).

Les chotts et les sebkhas font partie des zones humides saisonnières qui s'assèchent en été et sont réinondées en hiver. 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, et la zone qui l'entoure appelée chott.

L'Algérie compte environ 1700 zones humides dont cinquante sites sont classés RAMSAR, d'importance internationale. Ce sont soit des sites artificiels comme les barrages, soient naturels comme les oueds, les Sebkhas tel que Sebkhat Bazer, qui a été classé site Ramsar depuis 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, et elle est exposée à des problèmes de pollution des eaux usées de la ville d'El Eulma et de la ville de Sétif.

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 le sol, l'eau, et l'air. Elle peut être évidente. Comme elle peut être beaucoup moins visible (pesticides répandus sur les champs ou métaux lourds dissous dans les sols) (**HUBERT, 1984**).

INTRODUCTION

Les villes, les activités en agriculture par l'application des pesticides en agriculture, et l'industrie métallurgique rejettent volontairement ou accidentellement, de manière concentrée ou répartie, d'importantes quantités de diverses matières qui deviennent toxique avec le temps dans les sols superficiels ou par ruissellement naturel (**HUBERT, 1984**).

La présente étude est basée sur l'échantillonnage de sol sur le terrain et consiste en une analyse quantitative des principaux facteurs qui influence sur la stabilité des sols de la sebkha Bazer.

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

1. Généralité sur les zones humides

Les zones humides sont définies comme des espaces de transition entre terre et eau, elles constituent en effet une catégorie particulière de systèmes écologiques ou écosystèmes qui se différencient par leurs caractéristiques et leurs propriétés des deux autres grandes catégories représentés par les écosystèmes terrestres et les écosystèmes aquatiques (BARNAUD et FUSTEC, 2007).

Cette situation d'interface entre la terre et l'eau se rencontre dans de nombreuses situations : bords de lacs, d'étangs, de ruisseaux, rivières, fleuves, deltas ou baies, etc. Le terme générique « zones humides » désigne donc un ensemble de milieux naturels extrêmement différents mais possédant tous le point commun d'avoir un fonctionnement intimement lié à l'eau.

1.1. Définition des zones humides

Plusieurs définitions des zones humides existent parmi lesquelles on peut citer :

- **La convention de Ramsar (1971)** définit dans son article 1, les zones humides comme étant 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 ou saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres.

Elle prend donc en compte des milieux tels que les récifs coralliens ou les herbiers marins ainsi que les cours d'eau et milieux souterrains, qui sont en revanche exclus de la définition établie par le code de l'environnement.

- Pour **COWARDIN et al ., (1979)**, les zones humides sont des terres de transition entre les systèmes terrestres et aquatiques, la nappe phréatique étant habituellement soit à la surface, soit à proximité ou alors le terrain étant couvert d'une couche d'eau peu profonde. Dans le cadre de cette classification, les zones humides doivent avoir un ou plusieurs des trois attributs suivants : (1) le terrain est occupé de manière prédominante par des hydrophytes au moins périodiquement; (2) le substrat correspond de manière prédominante à un sol hydromorphe non drainé ; (3) le substrat correspond à un "non sol" (roches, galets) saturé en

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

eau ou couvert d'une couche d'eau peu profonde à certains moments, au cours de la saison de croissance de la végétation chaque année.

- **Selon le code de l'environnement**, les zones humides sont des « terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

Les zones humides ou milieux humides sont des écosystèmes particuliers : ce sont des intermédiaires entre les écosystèmes terrestres et les écosystèmes aquatiques. Il existe une grande variété de milieux humides sur la planète. L'eau qui les alimente peut être douce, saumâtre ou salée. Les conditions climatiques et géologiques, le pH et les conditions d'hydromorphologie sont très variables (**BARNAUD et FUSTEC, 2007**). Leur sol peut être submergé en permanence ou seulement lorsqu'il subit des battements de nappes ou les cycles de marée. Les zones humides sont plus ou moins reliées entre elles et avec les autres écosystèmes aquatiques.

1.2. Les zones humides algériennes d'importance internationale (sites Ramsar)

Les zones humides sont de plus en plus difficiles à gérer et sont menacées de dégradation vue l'impossibilité de limiter l'accès à ce qui est généralement le domaine public (**RAMSAR, 2007**). Le développement du tourisme représente une source de revenu importante et permettent le maintien d'activités économiques (**BARBIER et al., 1997 ; GROOT et al., 2006**), il engendre des sources de perturbations qui entraîne des bouleversements de comportement pour la faune, notamment les oiseaux (**PERENNOU et al, 1996**).

La convention de Ramsar est un cadre stratégique qui repose sur la vision d'élaborer et de maintenir un réseau international des zones humides pour les fonctions écologiques et hydrologiques qu'elles remplissent dans la conservation de la diversité biologique mondiale et la pérennité de la vie humaine. L'Algérie, ayant ratifié dès 1982 la convention de RAMSAR a adopté une démarche volontariste pour le classement, la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources. On compte aujourd'hui en Algérie environ 1700 zones humides. Cinquante (50) sites sont classés RAMSAR, d'importance internationale, dix (10) sites prioritaires sont retenus par le Ministère de l'Aménagement du

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Territoire de l'Environnement et de la Ville, pour être dotés d'un plan de gestion assurant leur gestion rationnelle et durable (Tableau I en Annexes).

1.3. Les principales fonctions des zones humides

Selon la (DGF, 2004), le fonctionnement 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:

❖ 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.

❖ 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.

❖ 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.

❖ 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.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

❖ **Rétention 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.

❖ **Rétention 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. Principales menaces qui pèsent sur les zones humides

Comme beaucoup de pays, certaines zones humides Algériennes sont menacées par plusieurs facteurs, dont les plus importants sont les suivants:

- ❖ L'utilisation des zones humides comme une décharge publique et lieux de rejets des eaux usées, décharge de matériaux ferreux, débris, gravats et ordures (**CREN, 2011**) ;
- ❖ La dégradation de ces milieux par le manque d'entretien et le développement excessif des roseaux, phragmites et algues ;
- ❖ La chasse et le braconnage qui déciment la faune des zones humides ;
- ❖ Le surpâturage qui entraîne la disparition du couvert végétal ;
- ❖ Le tourisme ;
- ❖ la pollution et intensification de l'agriculture : traitement phytosanitaires, épandages de fumures animales, amendements et engrais (nitrates et phosphates) ;
- ❖ Modification des cours d'eau par la lutte contre les crues et l'assainissement agricole ;
- ❖ Introduction d'espèces exotiques menaçant les espèces indigènes peuvent provoquer un déséquilibre écologique ;

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

- ❖ l'eutrophisation (enrichissement en élément du milieu : azote, phosphore...) qui conduit à la fermeture du milieu par développement excessif de la végétation.

2. Généralités sur les sebkhat

Les sebkhat font partie des zones humides. On commence par les définir

2.1. Définition de la sebkhat

Ce sont des dépressions salines inondées, formées temporairement entourées par une zone salée appelé chott. Elles sont alimentées par des apports superficiels de ruissellement (sebkhat), mais aussi par les nappes artésiennes qui remontent en surface du chott. Elles sont bordées d'auréoles de végétation ; liées aux variations de la texture et de la salinité (OZENDA, 1983). Une sebkha désigne un bassin occupant le fond d'une dépression à forte salinité plus ou moins séparé d'un milieu marin, dans des régions arides (milieu supratidal). Néanmoins, il peut être toujours en contact avec un très faible filet d'eau (bassin d'eau profond), ou au contraire par des infiltrations (bassin d'eau peu profond) dans ce cas il peut se produire des débordements périodiques d'eau vers le bassin. Dans les deux cas il va y avoir une augmentation de la salinité, une évaporation importante, l'apparition d'une saumure et la précipitation d'évaporites au fond du bassin si la profondeur est faible, ou à une extrémité si la profondeur est importante. Ils sont surtout situés au Nord de l'Afrique et dans le Moyen Orient (GOUGA, 2014).

2.2. Les systèmes de Sebkhat

Les sebkhas sont des écosystèmes naturels, qui présentent des intérêts très diversifiés, ces systèmes sont utilisés comme des indicateurs de révolution géochimique naturel, le suivi de cette évolution est non disponibles dans les autres systèmes (lac éternels, chambre magmatique) sur le plan écologique. Les sebkhas sont des biotopes très important, contribues à la protection de la biodiversité. Mais ces systèmes sont très fragiles, et sont menacés par l'effet anthropique (eaux usées, les engrais et les pesticides) (GOUGA, 2014).

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.3. Classification des Sebkhats

2.3.1. Classification selon le bilan hydrologique

L'étude faite par **Yan, JP. (2001)** appliquée sur les grands lacs du monde, ceux de Qinghai et Turquie, a classé les lacs salés en trois (3) types, selon leurs bilans hydrologique à savoir :

- Les lacs éphémères de type (A) « Ephemeral lake, short term ». Ce sont des lacs saisonniers, pouvant devenir secs dans un intervalle de temps très court, cela est dû au taux d'évaporation très élevé. Il s'agit de bassins fermés et ne reçoivent pratiquement pas de la matière minérale dissoute. Le pH dans ce cas est contrôlé par la réaction des minéraux seulement, parce que les protons libérés par les réactions de ces derniers ne peuvent pas être neutralisés par le flux des bicarbonates. La basse alcalinité des eaux rend le milieu acide.
- Les lacs éternels, de longue durée, de type (B) « Perennial lake, long term ». Le volume d'eau dans ce type de lac décroît graduellement dans un grand intervalle de temps. En contre partie, la salinité du lac décroît à cause du flux d'eau qui arrive au lac, provoquant la dilution des eaux. Le pH du lac est souvent maintenu pendant longtemps à un niveau élevé.
- Les lacs éternels à très grande durée, de type (C) « Large perennial lake. very long term ». Leur volume d'eau reste constant pendant de très longues périodes. L'augmentation de la salinité est continue dans le temps à cause du flux de la matière dissoute, déversée dans le lac.

3. 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.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

3.1. 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**).

3.2. 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 (**FORGES, 1972**) et (**GUET, 2003**), une troisième source non moins importante et indirecte, l'eau d'irrigation, peut également provoquer la salinité (c'est la salinisation secondaire).

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

3.3. Caractérisation des sols salés

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**).

3.4. 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 wilayate 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.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

→ Les sols salés dans la région de Sétif

Les sols salés occupent une superficie estimée à 12 400 hectares

(MACHANE, 1990).

4. La Pollution des sols

Les sols sont un milieu poreux non-saturé composé de trois phases : la phase solide (grains et agrégats, etc.), la phase liquide (eau et solutions) et la phase gazeuse. En conséquence, le transport des polluants au sein de ce type de milieu poreux peut se faire sous forme de gaz ou dans l'eau (soluté ou suspension) (MARLY, 2007). La présence des polluants dans le sol peut avoir un effet de contamination sur les nappes phréatiques. Différents processus de dégradation ou de menaces peuvent être cités : l'érosion, la diminution de la teneur en matières organiques, la contamination locale et diffuse, l'acidification, l'imperméabilisation, le tassement, la diminution de la biodiversité des sols, les inondations et les glissements de terrain (CHAPMAN, 1978).

4.1. Les types de pollutions de sol

- **Les pollutions diffuses** : se développant sur de grandes surfaces de sols, elles proviennent généralement d'épandages de produits solides ou liquides (emploi d'engrais ou de pesticides en agriculture) ou de retombées atmosphériques, ça peut concerner les nitrates et les phosphates. La dispersion puis l'accumulation de substances dangereuses sur ces sols donne ainsi des « sites uniformément contaminés »
- **Les pollutions ponctuelles** : à l'inverse des pollutions diffuses, elles se distinguent par la présence ponctuelle dans les sols et sous-sols de substances dangereuses provenant généralement de déversements, de fuites ou de dépôt de déchets. Non confinées et en fortes concentrations, ces substances donnent naissance à des « sites localement contaminés »

5. La pollution du sol par les anions

5.1. Les nitrates et les nitrites

5.1.1. Définition

Sont des composés chimiques inorganique symbolisés NO_3^- , NO_2^- , présent de façon naturelle dans l'environnement dissolvent facilement dans l'eau et migrent aisément vers les nappe phréatique (**SANTE CANADA, 1992**). Ils proviennent essentiellement de pollutions diffuses agricoles. Les nitrates en excès sur les sols sont entraînés chaque année un peu plus en profondeur, leur vitesse de migration vers les nappes est en moyenne de 1 à 2 m/an. Cette vitesse varie en fonction de la nature du sous-sol (plus rapide dans les sols sableux que dans les sols argileux). Les pluies hivernales et les inondations abondantes peuvent augmenter les concentrations en nitrate, les horizons de surface sont plus susceptibles que les horizons profonds. Ces derniers ont rarement des problèmes de nitrate (**GRHMSM, 2011**).

5.1.2. L'origine

Naturellement, les eaux et les sols superficiels renferment de l'azote, Le risque de contamination est plus important si le sol recouvrant la nappe d'eau est vulnérable (ex: sableux) et si la nappe est peu profonde (puits de surface) (**MEYBECK, 1982 et 1989**), les apports en nitrate sont de plusieurs origines (**LEVALLOIS et PHANEUF, 1994**) :

- ❖ L'utilisation de divers fertilisants synthétiques azotés et de fumier, associés aux cultures et à l'élevage intensif.
- ❖ La transformation d'oxyde d'azote et d'ammoniac (constituants les dépôts atmosphérique) en nitrate.
- ❖ la décomposition de la matière végétale et animale par les bactéries nitrifiantes présentes dans les sols.
- ❖ En absence de toute fertilisation azotée, les nitrates présents dans les sols proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

5.1.3. La toxicité par les nitrates

- ❖ Favoriser la croissance végétale. Cet impact, dans un premier temps est bénéfique, mais il est néfaste pour les écosystèmes aquatiques lorsque la prolifération végétale est poussée à l'excès donc le processus d'eutrophisation est alors accéléré (**OLDHAM et al., 1997**).
- ❖ provoque la maladie méthémoglobinémie (lorsque les nitrates présents dans l'eau de boisson et converti en nitrite) (**GRHMSM, 2011**).
- ❖ Il devient cancérigène lorsqu'il est transformé en nitrite et éventuellement en nitrosamines dans le tractus digestif (**WHO, 1995**).

5.2. Les phosphate

5.2.1. Définition

Les phosphates sont des composés phosphorés (inorganique sous forme d'orthophosphates), largement fréquent dans la nature. Il est le onzième constituant de la croûte terrestre et un de cinq composants essentiels à la croissance des végétaux. Les phosphates peuvent se retrouver sous forme dissoutes et/ou particulaires (associés aux particules en suspension, de sédiment, ou de sol).

5.2.2. L'origine

L'origine des phosphates est multiple on distingue (**ISABELLE, 2006**) :

- ❖ les fertilisants de phosphore dans le sol ;
- ❖ les eaux de pluie et les forêts ;
- ❖ les rejets des usines de filtration ou d'égout et les fosses septiques ;
- ❖ les eaux de surface contiennent très peu de phosphate (**CARPENTER et al., 1998**) ;
- ❖ l'urine et les fèces excrétées par les animaux et l'homme (**MIQUEL, 2003**) ;
- ❖ L'altération des phosphates de certaines roches (ignée ou sédimentaire) (**ON UAA, 2004**).

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

5.2.3. L'effet

Lorsque le sol est saturé en phosphate (la concentration dépasse le seuil), il est considéré comme un polluant et provoque:

- ❖ la contamination des eaux superficielle et la nappe phréatique (**RODIER et al., 1996**).
- ❖ la fertilisation des terres agricoles est une source de pollution diffuse d'eau (**ISABELLE, 2006**).

5.4. Le 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**).

5.4.1. 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 µg/g de sol sec en fonction de l'éloignement de la mer.

5.4.2. 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 répand peu dans la nature.
- ❖ Chlorure de calcium (Ca Cl₂) : C'est un sel relativement rare dans le sol, car il réagit avec Na₂SO₄ ou Na₂CO₃ pour former du CaSO₄ ou CaCO₃ (sel peu solubles)

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

- ✓ Chlorure de manganèse ($MgCl_2$) : C'est un sel relativement rare, sauf dans le cas de fort salinité sa solubilité est de l'ordre 350 g/l qui fait de lui un sel de toxicité extrêmement élevée (BANAS et LATA, 2007).

6. La pollution du sol par les métaux lourds

6.1. Définition des métaux lourds

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être définis comme :

- ❖ tout métal ayant une densité supérieure à 5 g/cm³.
- ❖ tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium

(Z=11)

- ❖ tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Certains chercheurs utilisent des définitions plus spécifiques. Le géologue, par exemple, considérera comme métal lourd tout métal réagissant avec la pyrimidine (C_6H_5N). Dans le traitement des déchets liquides, les métaux lourds indésirables auxquels on s'intéresse principalement sont : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le sélénium (Se), et le zinc (Zn). Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), et le zinc (Zn). Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en de très faibles quantités. Certains de ces éléments comme le cuivre, le zinc et le sélénium, sont essentiels à l'ensemble des organismes vivants ou à de grands groupes d'organismes. D'autres ont des fonctions plus ou moins importantes comme le nickel pour l'uréase, mais aussi l'arsenic et le chrome dans certains constituants. Enfin, certains n'ont pas de fonctions biologiques reconnues (oligo-élément), mais ils peuvent pour des teneurs élevées et sous forme chimique biodisponible, devenir toxique. Par ordre décroissant de toxicité spécifique, les métaux sont classés comme suit:

Hg > Cr > Ti > Mo > Cu > Ni > Pb > Zn (BERTHELIN, 1998). La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à diminuer les émissions en fixant des teneurs. Donc, il

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

est important de doser ces éléments avec précision afin de s'assurer que les normes sont respectées. Dans le cas contraire, il est indispensable d'utiliser des procédés de dépollution afin de les éliminer (TIFFREAU, 1996).

6.2. Origine des métaux lourds

Les métaux lourds peuvent provenir de plusieurs sources d'origine naturelles ou anthropiques.

6.2.1. Origine naturelle

6.2.1.1. Les roches primaires

Sont désignées ainsi les roches indemnes de toute oxydation ou altération ultérieures, notamment celles des agents météorologiques.

- ❖ **Roches ignées (magmatiques)**
- ❖ **Roches sédimentaires et métamorphiques**

5.2.1.2. Les roches de la zone d'oxydation

On désigne ainsi les roches situées à peu de distance de la surface du sol, une à quelques dizaines de mètres au maximum, et qui sont le siège de circulation d'eaux météorologiques chargées en oxygène. Cette zone d'oxydation correspond à la partie supérieure des nappes phréatiques, ainsi qu'à la couche comprise entre le niveau de l'eau et le sol (zone dite non saturée).

6.2.1.3. Les sols

Les sols se développent au sommet de la zone d'oxydation des substrats rocheux et doivent aux roches une bonne part de leur composition minéralogique et géochimique. Deux cas se présentent :

- ❖ Les roches primaires sont dépourvues de sulfures.
- ❖ Il y a des sulfures dans les roches primaires : dans ce cas, on peut rencontrer dans les sols des minéraux très riches en métaux lourds, et les sols eux-mêmes sont plus ou moins fortement enrichis : ce sont les zones d'anomalies géochimiques.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

6.2.2. Origine anthropique

L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Il n'y a ni création, ni suppression. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (ou spéciation) et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures, etc.). Si une partie des métaux lourds part directement dans le sol et les eaux, l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère avant de rejoindre les deux autres compartiments.

6.2.2.1. L'industrie

Les combustions de charbon engendrent des effluents gazeux qui peuvent contenir (As, Hg, Mo, Se). D'autres émissions gazeuses viennent des fonderies : (Ta, Cr, Pb). Les industries de traitement de surface (cadmiage, zingage, galvanisation, chromage, étamage, nickelage, anodisation de l'aluminium) peuvent rejeter des effluents liquides contenant du (Cr, Zn, Cd, etc.). Les sites de traitement du bois peuvent rejeter du Cu et du Cr notamment. Les pigments pour peintures et encres peuvent contenir du (Cd, Pb, Zn, Cr). Notons que la plupart des industries font des efforts d'épuration des eaux et des gaz. Il est également possible de modifier les procédés de fabrication pour les rendre moins polluants (technologies propres) (ZABAT, 2000).

6.2.2.2. Les transports

On observe, sur les routes, des dépôts de métaux agglutinés avec les huiles de carter (usure des moteurs) ainsi que des dépôts provenant de l'usure des pneus (KOZLOWSKI et GRABOWSKA, 2003). Les eaux de ruissellement des chaussées urbaines et autres peuvent être assez chargées en polluants. En milieu urbain, les eaux de pluie peuvent également emporter les métaux des toitures (Pb, Zn, Cu).

6.2.2.3. L'agriculture

L'épandage d'engrais peut amener des métaux (Sr, Ba, Mn, F, Zn, Cd) provenant des craies phosphatées, phospho-gypse. Les effluents d'élevage peuvent également apporter du Cu, Zn, et Mn. Les produits phytosanitaires peuvent également apporter du cuivre (cas bien connu de la bouillie bordelaise : sulfate de cuivre additionné de chaux). Ce composé est utilisé comme fongicide (vigne, pomme de terre,.....). L'étain et l'arsenic peuvent également entrer dans la formulation de certains pesticides.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

6.2.2.4. Les décharges de déchets ménagers

Les métaux lourds sont régulièrement présents dans les décharges. Des études ont montré qu'il restait 99,9% du stock des métaux dans la décharge au bout de 30 ans (**SINGH et al., 2001**) On a déterminé un ordre de «mobilité» (facilité de transfert dans la phase aqueuse) : Ni > Zn > Cd > Cr > Pb > Cu. Le pH, le potentiel redox, la présence de sulfures, la complexation sont des facteurs qui influencent grandement la possibilité de retrouver ces métaux dans les milieux aquatiques (**DIETRICH, 1998**).

6.2.2.5. Les exploitations minières

Les éléments métalliques sont en concentration très importante sur les sites miniers. Lorsque les métaux sont inclus dans les minerais, ils sont peu altérables donc peu mobiles. Les risques résultent de l'érosion des sulfures qui, par oxydation à l'air, forment de l'acide sulfurique qui solubilise ainsi le métal (**JUSTE, 1995**).

7. Relations métaux lourds - Sol

En résumé, le sol représente pour nombreux métaux lourds:

- ❖ un lieu de déposition ou un dépôt retenant les substances grâce à ses propriétés colloïdales (matières organiques – argiles).
- ❖ une ‘‘usine’’ de transformation des substances grâce aux réactions chimiques et à ses cortèges microbiens spécialisés.
- ❖ un distributeur de substances aux organismes vivants (animaux et végétaux) par le biais des racines des plantes .
- ❖ un ‘‘liquidateur’’ des substances qu'il n'arrive pas à fixer.

8. Les métaux lourds étudiés

8.1. Fer

Le fer est un élément métallique blanc argenté, de symbole **Fe**, magnétique et malléable. C'est un élément de transition de numéro atomique **26**. A l'état libre, le fer métallique se trouve dans les météorites, en général allié au nickel. Il occupe la quatrième place juste après l'Al (aluminium) dans la classification d'abondance des éléments dans la croûte terrestre. Proche de l'aluminium par ses propriétés. De petites quantités de fer sont

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

présentes sous formes combinées dans les eaux naturelles, les plantes et le sang (**NESTEL et DAVIDSSON, 2003**).

8.2. Le cadmium

Le Cadmium a une grande résistance à la corrosion ; son point de fusion est bas ; il a une bonne conductivité de l'électricité ; ses produits dérivés ont une bonne résistance aux fortes températures ; il présente des caractéristiques chimiques proches de celles du Calcium (**BORCHARDT, 1985**) Le Cd est fortement adsorbé par les argiles, les matières organiques, les boues et les acides humiques avec lesquels il forme des complexes. Le Cd est rapidement libéré des roches par altération. Il donne en solution Cd^{++} mais aussi des ions complexes comme CdCl^- ; CdOH^+ ; CdHCO_3^+ ; CdCl_3^- ; $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$; $\text{Cd}(\text{OH})^-$ de même que les chélates organiques.

8.3. Le chrome

Le chrome est un élément chimique de symbole **Cr**. Le chrome fait partie de la série des métaux de transition. C'est un métal dur, d'une couleur gris acier argenté. Il résiste à la corrosion et au ternissement.

- Les états d'oxydation les plus communs du chrome sont +2, +3, et +6 ; +3 étant le plus stable et les +4 et +5 sont relativement rares.

- Les composés du chrome d'état d'oxydation +6 (chrome hexavalent) sont de puissants oxydants (**BROWN, 1971**).

Le chrome est essentiellement obtenu à partir de la chromite, ce dernier est un minerai assez répandu sur le globe. Dans ce minerai le chrome est pratiquement toujours associé au magnésium sous forme de chromite de fer FeCr_2O_4 mais peut être également associé au magnésium sous forme de chromite de magnésium ($\text{Mg Cr}_2\text{O}_4$). On y trouve également de l'oxyde d'aluminium Al_2O_3 et de la silice. D'après **SITTIG (1976)**, le chrome représente 0,037% de la croûte terrestre.

8.4. Le cuivre

Le cuivre est un élément chimique de symbole **Cu**. Métal de couleur rougeâtre, il possède une haute conductivité thermique et électrique à température ambiante, le seul métal pur ayant une meilleure conductivité électrique que l'argent (**HURLBUT et al., 1987**). Sa

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

couleur rougeâtre le diffère au même titre que l'or par la couleur généralement grise des métaux (HURLBUT et KLEIN, 1982). Cu est moyennement abondant dans la croûte terrestre pour être un métal lourd (WEDEPOHL, 1995) ; on le trouve le plus fréquemment sous forme de sulfure ou de sulfosel (HURLBUT ET KLEIN, 1982).

8.5. Le nickel

Le nickel est un élément chimique de symbole Ni. Le nickel, d'après GRANIER (1975), occupe la 23^{ème} place dans l'ordre d'abondance des éléments minéraux dans la croûte terrestre. Il représente environ 0,016 % de celui-ci. Malgré cette abondance relative, les minerais exploitables économiquement ne sont localisés qu'en quelques sites, les deux principales formes sous lesquelles le nickel est exploité étant les amas sulfurés et les latérites nickélifères (SITTIG, 1976).

8.6. Le plomb

Le plomb est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Pb. Le plomb est un produit naturel de la désintégration de l'uranium (MAHAN, 1987). On l'extrait de sa source minérale principale, la galène (PbS) qui en contient 86.6% en poids, mais aussi des minerais associés aux Zn (la sphalérite), à l'argent et plus abondamment au cuivre (HURLBUT et KLEIN, 1982).

D'autres variétés communes sont la cérusite (PbCO₃) et l'anglésite (PbSO₄). La stabilité de ces minéraux est régie par les conditions environnementales.

8.7. Zinc

Le zinc est un élément chimique, de symbole Zn. Le zinc est un métal, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène (MAHAN, 1987). L'état d'oxydation unique du zinc est +2 (appelé ion zincique), ainsi la géochimie du zinc est relativement peu complexe et l'on note un comportement chalcophile assez marqué par une association fréquente avec le soufre (MAHAN, 1987).

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

8.8. Le manganèse

Le manganèse est un élément chimique, de symbole Mn. Ce nom découle des propriétés magnétiques de la pyrolusite, un minéral qui était déjà connu dans l'Antiquité (HURLBUT et KLEIN, 1982).

Le manganèse est un métal de transition gris-blanc qui ressemble au fer. C'est un métal dur et fragile, il fond sans difficulté, mais il est facilement oxydé. Le manganèse n'est ferromagnétique qu'après un traitement spécifique. Le métal et ses ions les plus communs sont paramagnétiques (MAHAN, 1987).

Les états d'oxydation les plus communs sont +2, +3, +4, +6 et +7, bien que tous les états entre +1 et +7 soient observés. Mn^{2+} est souvent en compétition avec Mg^{2+} dans les systèmes biologiques. Les composés de manganèse où celui-ci est en état +7 sont de puissants agents oxydants (par exemple, le permanganate de potassium $KMnO_4$, à la couleur violet sombre bien connue (MAHAN, 1987).

8.9. L'arsenic

L'arsenic est un élément chimique de la famille des pnictogènes, de symbole As, présentant des propriétés intermédiaires entre celles des métaux et des métalloïdes (MAHAN, 1987). La configuration électronique de l'arsenic induit quatre degrés d'oxydation possibles : -3, 0, +3, +5. Les composés de l'arsenic rencontrés dans l'environnement correspondent principalement à des espèces inorganiques, présentant les deux degrés d'oxydation As (V) et As (III) : arsénates et arsénites, respectivement. Ils sont solides, liquides voire gazeux. Il existe plus de 200 minéraux contenant de l'arsenic qui correspondent à des arsénates, des sulfures et sels sulfatés, des arsénites, des arséniures ou encore des oxydes (HURLBUT et KLEIN, 1982).

8.10. Sélénium

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

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

On le trouve dans les sols acides et faiblement aérés, le Sélénium est sous forme de séléniures (Se^{2-}) de métaux ou de sélénium élémentaire métallique (SeO), insolubles. Dans les sols alcalins et bien aérés, il est sous forme de sélénites (Se_3^{2-}), sélémates (SeO_4^{2-}) ou molécules organiques, absorbables par les plantes (**FREDEEN et al, 2005**).

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

9. La toxicité par les métaux lourds

Tableaux I: La toxicité des métaux et leurs différentes formes

Métal	Effets aigus	Effets chroniques non cancérogènes	Effets chroniques Cancérogènes
1) Arsenic	<p>Peu toxique, c'est un oligo-élément.</p> <p>Inhalation : les poussières induisent une irritation respiratoire, rhinite,</p> <p>Ingestion : les symptômes d'une intoxication à l'arsenic inorganique sont : douleurs épigastriques et abdominales, diarrhées</p>	<p>Inhalation : l'arsenic induit des maladies respiratoires chroniques des troubles sanguins et des atteintes neurologiques</p> <p>Ingestion : les symptômes généraux sont : faiblesse, langueur, perte d'appétit et</p>	<p>Une augmentation de la mortalité par cancer des poumons a été observée chez des populations exposées par inhalation. Une augmentation de la mortalité suite à des cancers du foie, des reins, des poumons et de la vessie et une augmentation de l'incidence de</p>

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

2) Cadmium	<p>La dose létale chez l'homme a été estimée à environ 0,6 mg/kg/j.</p> <p>Contact cutané : l'arsenic est un fort irritant cutané. Il peut induire des dermites et des ulcérations.</p> <p>Inhalation : irritation du nez et de la gorge, toux, céphalées, irritabilité, faiblesse musculaire, diarrhées, douleurs abdominales,</p> <p>Ingestion : de fortes doses de sels de cadmium entraînent une irritation gastro-intestinale, diarrhées. Une dose de 20 à 30 mg/kg est généralement mortelle.</p> <p>Contact cutané : aucune donnée</p>	<p>d'énergie, perte des cheveux, perte de poids</p> <p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p> <p>Inhalation : l'organe cible est le rein. Les symptômes rencontrés sont une néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale, une fibrose</p> <p>D'autres organes peuvent être atteints, le système respiratoire, le tissu osseux et le système nerveux</p> <p>Ingestion : l'organe cible est le même que pour</p>	<p>cancers de la peau ont été observés chez les populations consommant de l'eau contaminée en arsenic inorganique.</p> <p>Le cadmium et ses dérivés pourraient induire des cancers du poumon, de l'appareil respiratoire et potentiellement de la prostate.</p>
------------	---	---	---

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

	n'est disponible.	l'inhalation et les symptômes sont identiques. Le tissu osseux peut être également atteints, Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.	
3) Chrome	Inhalation : l'organe cible est le tractus respiratoire. irritations des muqueuses respiratoires Ingestion : inflammation du tube digestif puis nécrose Contact cutané : l'exposition aiguë au chrome trivalent ne produit pas d'effet sur la peau. irritation de la peau.	Inhalation : l'organe cible est le tractus respiratoire. Les dérivés de peuvent se comporter comme des allergènes si la concentration est suffisamment élevée. Les symptômes sont de l'asthme et des dermatites. Ingestion : aucune donnée n'est disponible chez l'homme. Chez l'animal,	Les études épidémiologiques réalisées chez des salariés exposés aux ferrocromes ne permettent pas de conclure quant à un effet cancérigène de ce dernier. Dans ce cas, il s'agit essentiellement d'exposition au Cr III. Cancers pulmonaires, risque de carcinomes du nez, du pharynx et du tractus gastro-intestinal.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

		<p><i>Contact cutané</i> : dermatites et ulcérations.</p>	
4) Cuivre	<p>Inhalation : les fumées et les poussières contenant du cuivre provoquent : irritation des muqueuses respiratoires ; congestion des muqueuses nasales, congestion du pharynx, ulcération voire perforation du septum nasal.</p> <p>Ingestion : l'absorption d'une dose unique d'un dérivé du cuivre donne lieu à : goût métallique, douleurs épigastriques, céphalées, nausées, , diarrhée, respiratoires, anémie, hématurie, hémorragie gastro-intestinale massive, insuffisance hépatique et rénale aboutissant à la mort.</p>	<p>Inhalation : le cuivre et ses dérivés induisent une irritation des voies aériennes supérieures et des troubles gastro-intestinaux</p> <p>Une diminution du taux d'hémoglobine et des lésions hépatiques</p> <p>Ingestion : le cuivre peut induire une insuffisance hépatique aiguë</p> <p>. Le sulfate de cuivre induit une nécrose hépatiques centrolobulaire et une nécrose tubulaire rénale.</p> <p>Contact cutané : le cuivre et ses</p>	<p>Aucune certitude n'a pu être établie concernant le rôle potentiellement cancérogène du cuivre chez l'homme.</p>

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

	<p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>dérivés peuvent provoquer des réactions allergiques chez certains individus.</p>	
5) Fer	<p>Inhalation : irritation, lésions respiratoires.</p> <p>Ingestion : le fer est absorbé à l'état ferreux puis est réduit en ions ferriques par les sécrétions gastro-intestinales.</p> <p>Les symptômes sont : douleurs abdominales, diarrhées, vomissements, pâleur ou cyanose, hyperventilation (acidose), collapsus cardiovasculaire puis mort,</p> <p>Contact cutané : dermite persistante et pigmentation brune.</p>	<p>Inhalation : marbrure des poumons, sidérose considérée comme une pneumoconiose bénigne.</p> <p>Ingestion : Aucune donnée n'est disponible.</p> <p>Contact cutané : Aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>Aucune donnée n'est disponible et le fer n'a pas été classé pour son caractère cancérigène.</p>
6) Manganèse	<p>Inhalation : les</p>	<p>Inhalation :</p>	<p>Aucune donnée</p>

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

	<p>poussières de manganèse provoquent une irritation intense avec alvéolite caustique. Les fumées d'oxyde de manganèse peuvent entraîner l'apparition de frissons, de fièvre, de sudation, de nausées et de toux.</p> <p>Ingestion : aucune donnée n'est disponible</p> <p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>manganèse peut entraîner une réponse inflammatoire au niveau des poumons, avec de la toux, des bronchites, L'inhalation de fortes concentrations de manganèse peut entraîner des troubles neurologiques, des douleurs musculaires, de l'irritabilité, des céphalées. Les poussières de manganèse induiraient une diminution de la fertilité masculine.</p> <p>Ingestion : effets neurologiques pour de fortes</p>	<p>n'est disponible.</p>
--	---	---	--------------------------

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

		<p>doses de manganèses.</p> <p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p>	
7) Nickel	<p>Le nickel élémentaire en lui-même n'est pas toxique.</p>	<p>Inhalation : le nickel métal augmenterait l'incidence des décès par pathologie respiratoire à une concentration supérieure à 0,04 mg/m³.</p> <p>Ingestion : aucune donnée n'est disponible.</p> <p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>Aucune donnée n'est disponible.</p>
8) Plomb	<p>Inhalation : aucune donnée n'est disponible.</p> <p>Ingestion : les troubles</p>	<p>Les organes cibles sont le système nerveux central et périphérique, le</p>	<p>Aucune donnée n'est disponible.</p>

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

	<p>digestifs</p> <p>Une atteinte rénale</p> <p>En cas d'atteinte sévère, les lésions au niveau du système nerveux central et un coma pouvant conduire à la mort.</p> <p>Enfin, des atteintes hépatiques ont été observées chez des enfants présentant des signes d'intoxication aiguë par le plomb.</p> <p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>système circulatoire, les reins et les organes de reproduction. Les intoxications sévères, Le plomb induit aussi des anémies, des insuffisances rénales,</p>	
9) Sélénium	<p>Inhalation :</p> <p>le principal problème, qui intervient dans la plupart des expositions industrielles où le sélénium est chauffé. l'acide sélénieux qui est un irritant puissant. Il est</p>	<p>Inhalation : un homme ayant été exposé à long terme dans le milieu professionnel a du sélénium et à ses composé à développé un infarctus</p>	<p>Aucune donnée n'est disponible.</p>

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

	<p>généralement admis</p> <p>que le sélénite et le sélénate de sodium ainsi que la sélénométhionine et le séléno glutathion sont parmi les espèces les plus toxiques.</p> <p>Ingestion :</p> <p>Les symptômes causant la mort sont un œdème pulmonaire et des lésions pulmonaires. Le sélénate de sodium induit une salivation excessive, difficulté pour respirer et diarrhée.</p> <p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>Ingestion : le sélénium et ses composés induisent une sélénose qui se caractérise par une perte des cheveux et des ongles, des lésions cutanées, des caries dentaires et une atteinte du système nerveux.</p> <p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p>	
<p>10) Zinc</p>	<p>Inhalation : les vapeurs de composés de zinc peuvent induire la mort suite à une détresse respiratoire importante, une fibrose pulmonaire a été</p>	<p>Inhalation : troubles gastro-intestinaux, des douleurs abdominales ou épigastriques, des nausées, des lésions</p>	<p>Deux études réalisées en milieu professionnel n'ont pas montré d'augmentation significative de l'incidence des</p>

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

	<p>observée ;</p> <p>la fièvre, des douleurs musculaires, des céphalées et un goût métallique dans la bouche. Des effets cardiaques et gastro-intestinaux peuvent aussi être associés à l'exposition à ces fumées.</p> <p>Ingestion : le zinc métal peut induire des vertiges, une léthargie, L'ingestion de sulfate de zinc peut induire des désordres gastro-intestinaux.</p> <p>Contact cutané : le chlorure de zinc est classé comme corrosif par la Commission européenne. L'oxyde, le sulfate et le stéarate de zinc ne sont pas irritants.</p>	<p>de l'appareil respiratoire</p> <p>Ingestion : des crampes d'estomac, des nausées et des vomissements ont été observés chez des volontaires</p> <p>Le zinc jouerait aussi un rôle dans le développement et le maintien de l'intégrité du système immunitaire.</p> <p>Contact cutané : aucune donnée n'est disponible.</p>	<p>cancers en relation avec l'exposition au zinc. Une analyse a montré que la mortalité par cancer pulmonaire était élevée dans une zone autour d'une exploitation minière du fer et du zinc. Mais aucune association n'a pu être établie avec les niveaux d'exposition en zinc.</p>
--	---	---	--

Chapitre II : Matériel et méthodes

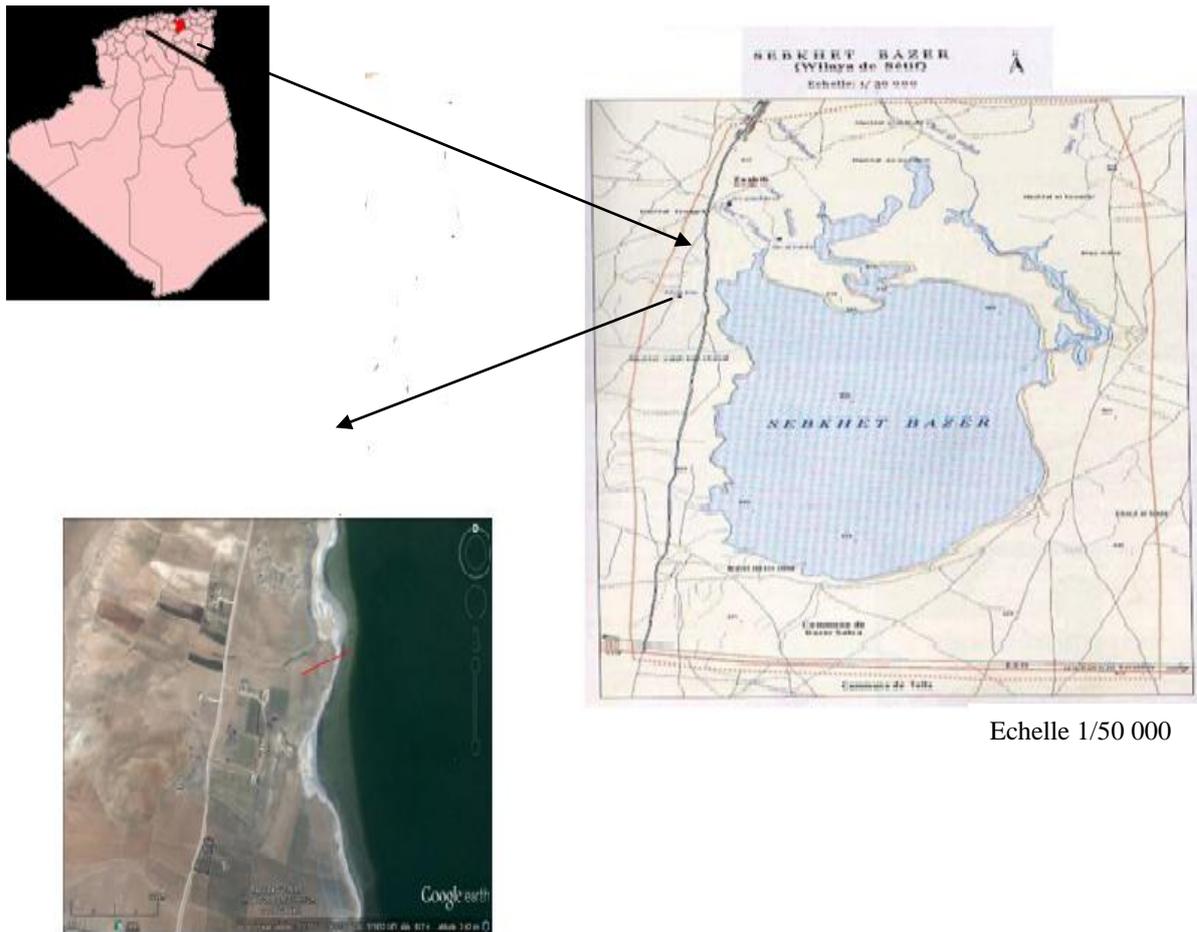
L'objectif de ce travail est de contribuer à l'étude de l'état de pollution par les anions polluants (chlorures, nitrates, nitrites, orthophosphates...etc), et par les métaux lourds (Arsenic, cadmium, cuivre, chrome, Fer, manganèse, Nickel, plomb, sélénium, et Zinc) des sols salés de sebkha Bazer.

1. Présentation générale de la zone d'étude (Sebkhet Bazer, wilaya de Sétif)

1.1. Localisation de la zone d'étude

Sebkhet Bazer se situe à 9 km au Sud de la ville d'El Eulma, elle est limitée à l'Ouest par le Djebel Baraou culminant à 1267 m , au Nord par Merdjet Ech-chtout de 920 m, au Sud par Koudiat Gueltet Ed Debba se trouve à une altitude de 972 m et à l'Est par Mechtet Nouasser haut de 929 m. Elle se localise au Sud de deux agglomérations, le village d'El Melah (3 km) et le chef-lieu de la Commune de Bazer avec (19.675 habitants) (**BARKAT et al., 2004**).

- Se trouve entre 36° 00' et 36° 05' Nord de latitude et 5° 37' à 5° 45' Est de longitude (**BOUMAZBEUR, 2004**)
- Elle couvre une superficie de 15500ha (**SAHEB et al., 2011**) (figure 2).



Echelle 1/50 000

Figure 2 : Situation géographique de la sebkha de Bazer-Sakra (ANONYME, 1977)

1.2. Géologie

Le site est une dépression fermée qui s'enfoncé dans un relief globalement plat. Le substratum géologique est essentiellement calcaire, les affleurements du Trias gypso-salifères sont fréquents. Les formations géologiques constituant la sebkha datés du Quaternaire sont peu tectonisés (BARKAT et al., 2004), Le bassin de la sebkha est formé de vases salées souvent inondées surtout l'hiver et recouvertes l'été par des croûtes de sel, l'étude géophysique montre que celui-ci appartient à une lame peu épaisse associée soit au front des nappes telliennes, soit au chevauchement de la série supérieure de l'ensemble allochtone Sud-Sétifien. Sur le pourtour du site se répartissent les formations de pentes correspondant à des terrasses dilacérées ou à des alluvions anciennes sur lesquels se sont développés des sols Bruns peu ou pas calcaire (ANONYME, 1977).

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

1.3. Pédologie de la sebkhat

La sebkhat de Bazer repose sur un sol d'apports non consolidés dont les talus en pente ont une dénivelée allant jusqu'à 5 mètres, entouré par des sols de différents types. D'après la carte pédologique établie par un auteur anonyme en 1974, nous pouvons distinguer quatre types de sols:

1.3.1. Les salorthids ou sols salés

Ces sols résultent de la prédominance de migrations ascendantes d'eau salée provenant d'une nappe peu profonde (**LACOSTE et SALANON, 1986**) qui consacrent l'espace septentrional et meridional de la sebkha. Nous les trouvons aussi dans sa partie méridionale Sud et Sud Est. Leurs humidités ne dépassent pas les 20%.

1.3.2. Les calsiorthids ou sols bruns calcaires

Ils sont rencontrés dans l'espace occidental de la sebkha. Ils possèdent un horizon supérieur peu organique reposant sur un horizon calcique. La plupart de ces sols ont une teneur en carbonates dépassant largement les 15% (**ANONYME, 1974**). L'humidité du sol est de l'ordre de 42%.

1.3.3. Les haploxerolls ou xérendzines

Des sols argileux en surface dans la majorité des cas. Ils sont concentrés dans l'espace oriental. La teneur en carbonate de calcium varie entre 10 et 50%. Les haploxerolles sont situées autour des sebkhas, des chotts et tous les profils salins sont possibles (**ANONYME 1974**).

1.3.4. Les Paléorthides

Ces sols occupent la région méridionale de la sebkha et délimitent tout son pourtour (**BAAZIZ, 2006**).

1.4. Hydrologie

Le site, est une dépression endoréïque, comprend un réseau hudrique constitué par trois principaux oueds:

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

- Oued El Guitoune
- Oued Djermane
- Oued El Melah

Les deux derniers se rejoignent pour se jeter dans la partie Nors-Est de la sebkha. Oued El-Guitoun aboutit dans la partie septentrionale de la sebkha (figure 3).

Oued El Melah alimenté par les eaux usées (ménagère et industrielle) de la ville d'El Eulma et du village d'El Melah, ce dernier assure l'hydro-morphie de la sebkha en saison estivale. il y a un apport hydrique par le biais des eaux usées de la ville d'El-Eulma. Le volume de l'eau dans la sebkha ; varie d'une année à une autre suivant la pluviosité. La hauteur de l'eau ne dépasse pas 500 mm ; même pendant les années les plus pluvieuses. En général le site se trouve asséché en été sauf dans sa partie Nord-Est ou les deux principaux oueds déversent leurs eaux. Le débit moyen annuel du bassin versant est d'environ 7,3 millions de 3m (**BECHTEL, 1975**).

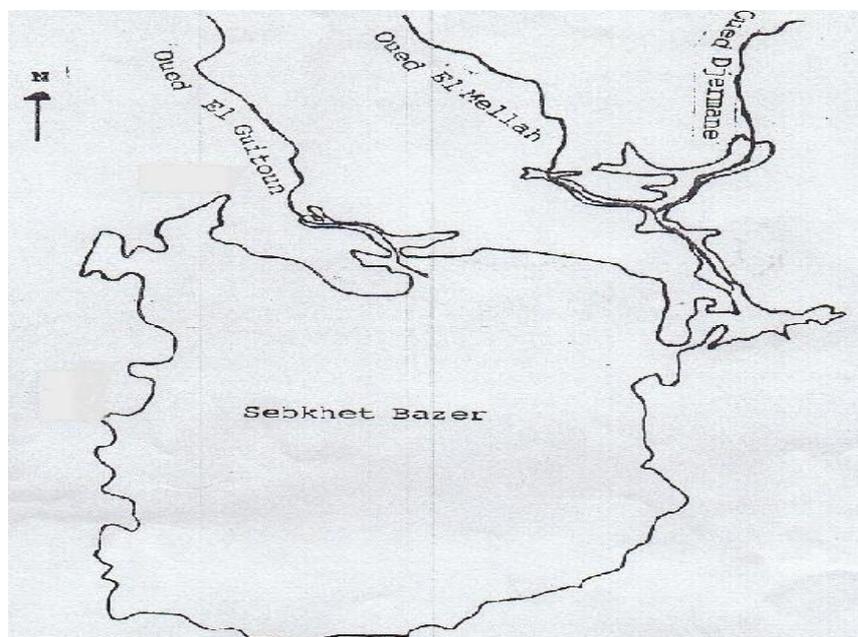


Figure 3 : Réseaux hydrographique de la sebkha de Bazer-Sakra (1/50 000)

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

1.5. Climat

Le climat est le facteur le plus important qui influe directement le transfert et la distribution des matériaux (**RAMADE, 2009**). En analysant les données climatiques de la station météorologique de Sfiha (Sétif) sur une période de 21 ans (1990, 2011), on constate que la région de Sétif est sous la dominance du climat méditerranéen, elle se caractérise par une sécheresse estivale qui varie de quatre à cinq mois et une pluviométrie assez régulière dont la plus grande quantité est notée durant l'hiver.

1.5.1. La température

Selon **DAJOZ (2006)**. Les températures, second facteur distinctif du climat, constituent un facteur très important qui règle le phénomène d'évaporation et par conséquent il influe directement sur la concentration de la solution de sol en éléments minéraux.

Les températures se distinguent par des variations fortes et importantes pouvant aller jusqu'à -10°C en période hivernale et plus de 40°C en été.

La température la plus basse est enregistrée aux mois de Décembre et Janvier, alors que les mois les plus chauds sont Juillet et Août (**OUNNAS, 2012**).

Tableaux II : Température annuelle de Sétif pendant la période (1990-2010).

	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
M	9,9	11,4	14,6	17,3	23,2	29,5	33,6	32,6	27	21,4	14,8	10,5
M	1,9	2,2	4,7	6,8	11,5	16,3	19,7	19,7	15,5	11,5	6,3	2,8
M+m /2	5,9	6,8	9,6	12,05	17,35	22,5	26,65	26,15	21,25	16,45	10,55	6,65

D'après ces données, nous relevons que les températures de la période 1990 – 2011 présente huit mois froids qui s'étalent d'octobre à mai et le mois de janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de $5,9^{\circ}\text{C}$. Alors que la période chaude est moins longue

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

avec quatre mois (de Juin à septembre), Le mois le plus chaud est celui de juillet avec une moyenne de 26.65 °C.

1.5.2. Précipitations

Les précipitations représentent un élément écologique important. Elles jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement du marais. Les quantités des précipitations influent directement sur le bilan hydrologique, Les quantités d'eau apportées au sol jouent sur la concentration des éléments chimiques dans la solution de sol, elle influe sur la solubilité et la mobilité de ces éléments dans le sol, le climat méditerranéen se caractérise par des précipitations généralement faibles et mal réparties dans le temps.

1.5.2.1. Précipitations moyennes mensuelles

Le tableau présente la répartition moyenne mensuelle des précipitations durant 21 ans (1990 - 2010).

Tableaux III : Répartition moyennes mensuelle des précipitations (Sétif) (1990-2010).

Période(1990-2010)	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne	40.3	34.5	32.9	43.8	45.7	20.1	12.8	13.9	46.8	31.6	38.4	43

L'analyse de données pluviométriques de la période (1990 - 2010) reflète faiblesse et l'irrégularité des précipitations qui connaissent de grandes fluctuations d'un mois à un autre et d'une année à une autre. Généralement, cette période connaît une plus grande concentration des précipitations au cours des périodes printanières et automnales.

Les précipitations les plus basses pour la période (1990 - 2010) sont enregistrées pendant les mois de juin, juillet, août et les plus hautes relevées durant les mois de novembre, décembre, janvier, mars et mai.

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

1.5.3. 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 ($P=2T$)

Selon le diagramme ombrothermique de la wilaya de Sétif, il s'avère que la saison sèche dure du le mi- mai jusqu' au mois d'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.

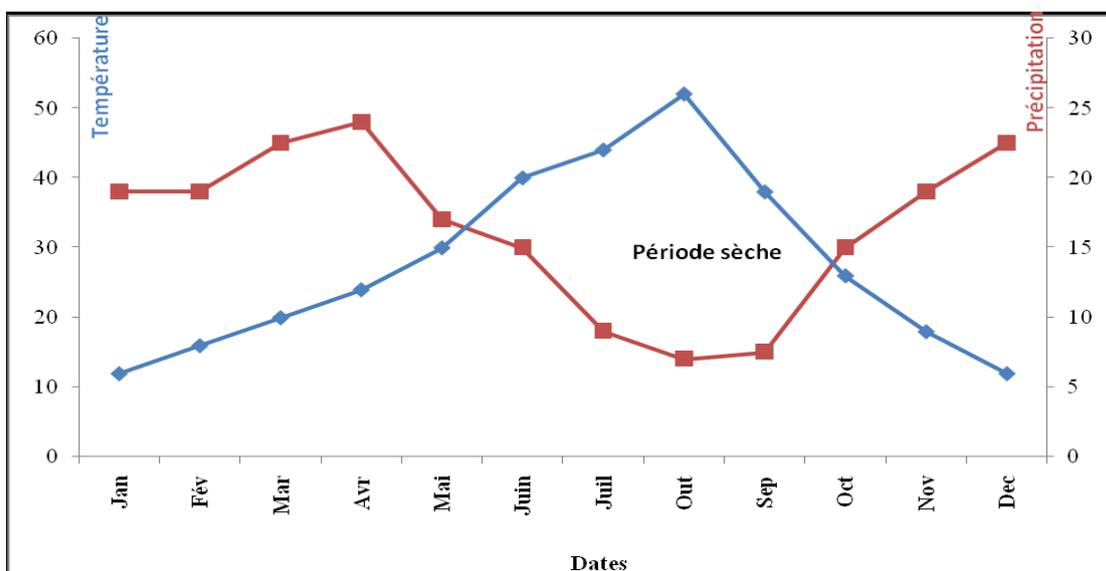


Figure 4 : Diagramme ombrothermique de la station de Sétif (1990-2010)

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

1.5.4. Le vent

C'est un paramètre important dans le transfert éolien des poussières dans les cas des pollutions atmosphériques par les métaux lourds, la vitesse et la direction du vent règle le transport du plomb émis par les fumées industrielles et les gaz d'échappement des véhicules. Le vent est capable de transporter ces poussières chargées en Cu, Fe, As, Zn, Pb, Se, Cd, Mn, Ni, et Cr dans le cas des exploitations minières sur des mètres voir plusieurs kilomètres de leur lieu d'émission.

Les vents dans la région soufflent surtout du Nord en hiver (vents humides) et du Sud en été (vents secs). En hiver les vents du secteur Nord-Ouest apportant le plus gros des précipitations de l'année. En été, c'est le sirocco (vent sec et chaud) qui remonte du Sud (DGF, 2010)

Tableaux IV : Moyennes Mensuelles de la vitesse du vent (m /s) pendant la période (1990 - 2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Vitesse (m/s)	2.5	2.8	2.8	3.2	3	2.8	2.7	2.7	2.5	2.3	2.8	2.7

Les vitesses du vent sont presque homogènes pendant plusieurs mois de l'année.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Matériel

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

1. Phase de bureau.
2. Travaux sur terrain.
3. Analyse au laboratoire.

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

4. Traitement des données.

2.1.1. 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 pédologique étudiés:

1. L'accessibilité ;
2. L'éloignement des sources de pollution.

2.1.2. Échantillonnage 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 Sebkhath Bazer, la toposéquence traverse la sebkhath dans le sens latéral, elle va du centre de la sebkhath 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 de la sebkhath 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 5).

1. Les profils ont été géoréférencié avec un GPS de navigation les coordonnées géographique sont présenté dans le tableau V.
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.

Les coordonnées géographiques de chaque profil sont présentées dans le tableau ci dessous.

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

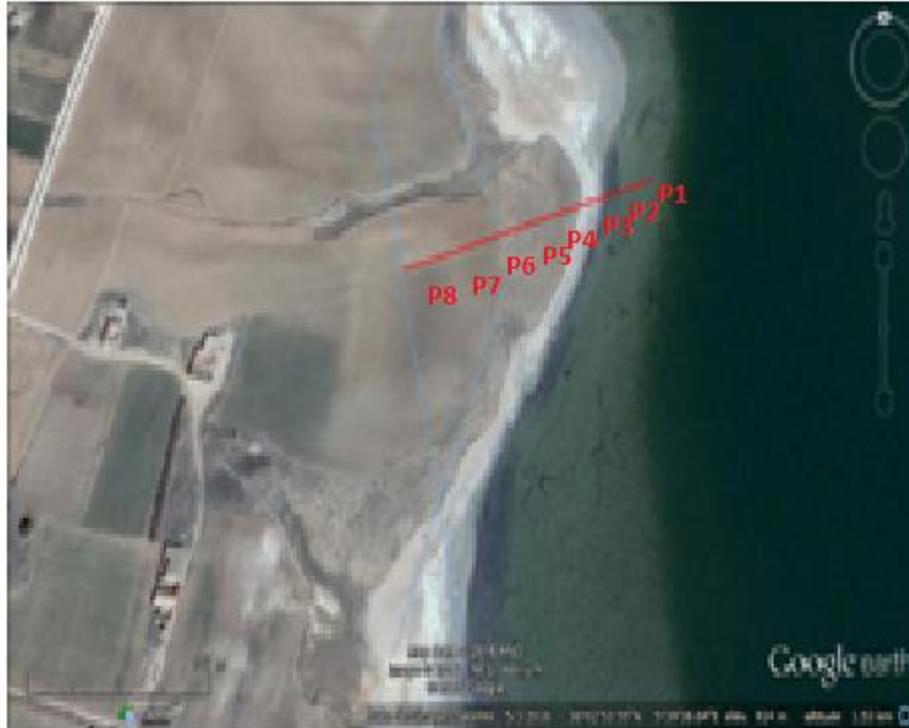


Figure 5 : Toposéquence étudiée (Google Earth)

Tableaux V : Les coordonnées géographiques des profils pédologiques

Numéro de profil	Cordonnées géographiques
Profil 1	Longitude 5° 39' 40,3536" Latitude 36° 3' 0,8568"
Profil2	Longitude 5° 39' 39,7836" Latitude Longitude 36° 3' 0,6156"
Profil 3	Longitude 5° 39' 38,8620" Latitude 36° 3' 0,3672"
Profil 4	Longitude 5° 39' 38,1636" Latitude 36° 3' 0,3960"
Profil 5	Longitude 5° 39' 36,7128" Latitude 36° 3' 0,4032"
Profil 6	Longitude 5° 39' 35,9856" Latitude 36° 2' 59,7867"
Profil 7	Longitude 5° 39' 34,8336" Latitude 36° 2' 59,6076"
Profil 8	Longitude 5° 39' 34,1316" Latitude 36° 2' 59,4888"

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

3. Méthode

3.1. L'échantillonnage

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 (24 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.

3.2. 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 boites en polyéthylène qui se ferme hermétiquement

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

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.

3.3. Analyses au laboratoire

3.3.1. L'extrait de la 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 300g 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 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_3)

Dosage de calcaire présent dans l'échantillon de terre par la méthode volumétrique du calcimètre de BERNARD.

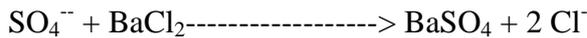
3.3.4. Gypse

Dosage des ions SO_4^{--} , 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_4^- et de précipiter Ca^{++} sous forme de CaCO_3 .

Au filtrat acidifié, est ajouté à chaud une solution de chlorure de baryum, l'ion sulfate précipite sous forme de sulfate de baryum (BaSO_4) (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES



3.3.5. Matière organique

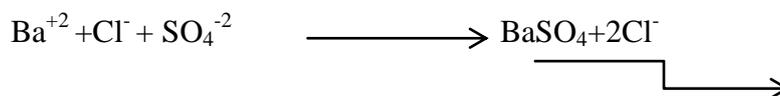
Le teneur en matière organique dans le sol est estimé à partir de la calcination de la matière organique à 1050 °C dans un four à moufle et élimination du taux de calcaire (HOUBA et al., 1995).

3.3.6. Bilan anionique

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

-Dosage des chlorures (Cl⁻) : cette analyse a été réalisé selon la méthode de mohr ; dosage par titrimétrie au nitrate d'argent (RODIER, 2005).

-Dosage des sulfates (SO₄⁻²) : Le dosage des sulfate 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 (HCO₃⁻) : Le dosage a été fait par titrimétrie à l'acide sulfurique en présence d'indicateur : l'orange de méthyle (RODIER, 2005).

-Dosage des Nitrates (NO₃⁻) : Dosage des nitrates par spectrophotométrie ; dosage colorimétrique en présence de salicylate de sodium (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).

- Dosage des nitrites (NO₂⁻) : Dosage des nitrites à spectrophotométrie par la méthode au réactif de Zambelli, dosage colorimétrique en présence de l'acide sulfanilique (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).

-Dosage des Orthophosphates (PO₄³⁻) : Dosage des orthophosphates par spectrophotométrie dosage colorimétrique en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium (RODIER, 2005).

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

-Dosage des 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.

Les métaux lourds ont été dosés 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 floride ethylène)
- Sous la hôte, avec une pipette de précision, on ajoute 5 ml d'acide nitrique HNO_3 pur et 2 ml d'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

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

- Les résultats fournis par le spectromètre de masse à plasma à couplage inductif sont exprimé en ppb puis converti en ppm.



Figure 6 : Les étapes de digestion et de dosage des métaux lourds

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

3.3.8. Principe de la technologie ICP-MS



La technologie ICP repose sur le principe de la spectroscopie d'émission atomique. Dans le plasma argon haute température de la technologie ICP-MS, les éléments présents dans les échantillons à analyser se désintègrent en ions positifs et sont ensuite détectés lors de leur passage dans le spectromètre de masse sur la base de leur rapport masse/charge. En principe, la ICP-MS comprend les étapes suivantes : préparation et introduction de l'échantillon, génération d'aérosol, ionisation par la source de plasma argon, différenciation de la masse et identification par le système de détection, y compris analyse des données. L'analyse des éléments traces exige d'utiliser des réactifs/solvants et de l'eau d'une grande pureté afin que la précision de l'appareil ICP-MS ne soit pas influencée négativement. L'eau ultra-pure sert par exemple à créer des échantillons à blanc de l'instrument, des courbes d'étalonnage et des étalons ou à préparer des échantillons. Voilà pourquoi elle ne doit pas contenir les éléments qui seront analysés lors du test. Des solutions étalons des éléments correspondants mentionnés ci-dessous ont été injectées dans l'appareil Agilent ICP-MS 7500cs avec les échantillons à blanc de l'instrument (valeur zéro), et les courbes d'étalonnage indiquées ont été enregistrées (SARTORIUS et al., 2012).

3.3.9. Fonctionnement

Un ICP-MS contient un système d'introduction permet de transformer l'échantillon à une forme gazeuse et le transmet vers le plasma à couplage inductif (ICP). Avant de porter les échantillons vers le spectromètre de masse (MS) l'argon gazeux à haute température (8000 à 10000 K) et fortement ionisé, décompose la matrice, atomise et ionise ces échantillon introduites. Le MS détecte et quantifie les ions après les sélectionnés en fonction de leur rapport masse/charge. Le détecteur est linéaire sur 9 ordres de grandeur. Deux cônes – un cône échantillonneur et un cône écrêteur – assurent le transfert des ions de l'ICP, vers le MS, la pression atmosphérique réduite. Un jeu de lentilles, placé après les cônes, permet de refocaliser le faisceau d'ions, qui diverge fortement du fait du gradient de pression, et d'éliminer les espèces neutres et les photons. La réponse des différents éléments chimiques dépend grandement de la température du plasma, de la densité des ions, atomes et électrons dans le plasma ainsi que l'énergie d'ionisation de ces éléments. On peut estimer que 51 éléments naturellement présents dans la table périodique sont ionisés à plus de 90% et seulement 9 à moins de 1%. D'autres éléments tels que le sélénium, l'arsenic, le mercure ou le béryllium par exemple sont des éléments qui s'ionisent moyennement (**JEROME, 2007**).

4. traitement des données

4.1. Analyse en composants principales (ACP)

La statistique multidimensionnelle est une méthode descriptive ayant pour objet la description des données contenues dans un tableau d'individus à caractères numériques (P caractères sont mesures sur n individus), fournissant ainsi des informations à des éléments d'interprétation qu'on ne peut obtenir par les traitements classiques, et permet une analyse des relations entre les nombreuses variables donnant. Le point de départ de l'analyse est un tableau double entré ou les colonnes représentent les individus (les horizons de huit profils).

L'ACP est une méthode factorielle, car La réduction du nombre de caractères ne se fait pas sur une simple sélection de certains d'entre eux, mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen des facteurs (**BENZECRI, 1973**).

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

4.2. L'analyse factorielle des correspondances(AFC)

L'analyse factorielle des correspondances, notée AFC, est une analyse destinée au traitement des données qualitatives ou quantitatives et permet de représenter sur une même carte plan ou spatial deux ensemble, l'ensemble R (relevés) et l'ensemble E (espèce). De telle sorte que chaque relevé se trouve entouré des espèces et que chaque espèce entouré les relevé ou elle figure.

Selon **BENZECRI (1973)** le but principal de l'AFC reste donc le même ; lire l'information contenue dans un espace multidimensionnel par une réduction de la dimension de cet espace tout en conservant un maximum de l'information contenu dans l'espace de départ.

Chapitre III : RESULTATS 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 sebkhaBazer qui représente l'une des zones humides les plus importantes à l'échelle nationale.

1. Caractérisation physico-chimique des sols de la sebkhat de Bazer

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

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

Echantillon	pH	CE ds/cm)	CaCO ₃ (%)	Gypse (%)	Matières organique (%)	Humidité à saturation(%)
P1H1	6,99	48,95	43,09	0,155	26,4	59,1
P1H2	7,55	49,83	35,45	5,045	28	12,65
P2H1	6,9	138,01	40,31	1,88	31	15,7
P2H2	7,51	46,92	28,27	7,53	28,2	74,48
P3H1	8,23	1,51	29,19	9,22	25,4	53,6
P3H2	7,4	30,53	39,85	18,508	23	12,3
P3H3	7,41	27,39	23,17	27,52	21,8	71,97
P4H1	7,67	1,061	36,6	0,665	23,8	24,7
P4H2	7,61	4,063	43,56	0,6	23,8	16,74

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

P5H1	7,5	1,613	34,52	19,92	23,8	54,9
P5H2	7,92	6,546	27,8	37,05	21,6	17,9
P5H3	7,64	10,88	18,07	12,39	15,2	76,39
P5H4	7,7	8,14	8,11	11,51	11	37,2
P5H5	7,83	10,10	22,24	9,81	21	74,8
P6H1	7,6	0,97	39,39	1,62	27,6	53,6
P6H2	7,66	10,6	15,99	10,18	20	66,6
P7H1	7,77	0,65	38,91	8,705	27,8	51,3
P7H2	7,19	3,49	41,47	27,89	28,4	76,8
P7H3	7,6	5,141	40,77	5,755	26,2	81,9
P7H4	7,69	5,315	22,01	28,94	21,2	46,2
P8H1	7,68	0,658	44,48	0,515	25,6	45,9
P8H2	7,76	0,588	50,5	1,25	29	58
P8H3	7,7	1,024	44,48	1,105	28	64,7
P8H4	7,71	4,496	27,11	1,14	17,6	48,2

1.1. Le pH

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

Les résultats de l'analyse montrent que les valeurs du pH sont comprises entre 6.9 et 8.23 (figure 7) ce qui montre qu'on est en présence d'un sol neutre à moyennement alcalin(DURANT, 1983).Ces résultats coïncident avec le taux assez élevé de carbonates de calcium (CaCO_3) dans ces sols (KPS calcite = $10^{-8.37}$).

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs du pH sont relativement identiques pour tous les échantillons, les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour les échantillons P1H1 (6.99) et P2H1 (6.9), cette baisse des valeurs peut être due à un taux élevé soit en gypse ($KPS_{\text{gypse}}=10^{-4.85}$) soit en matière organique (libération des acides organiques).

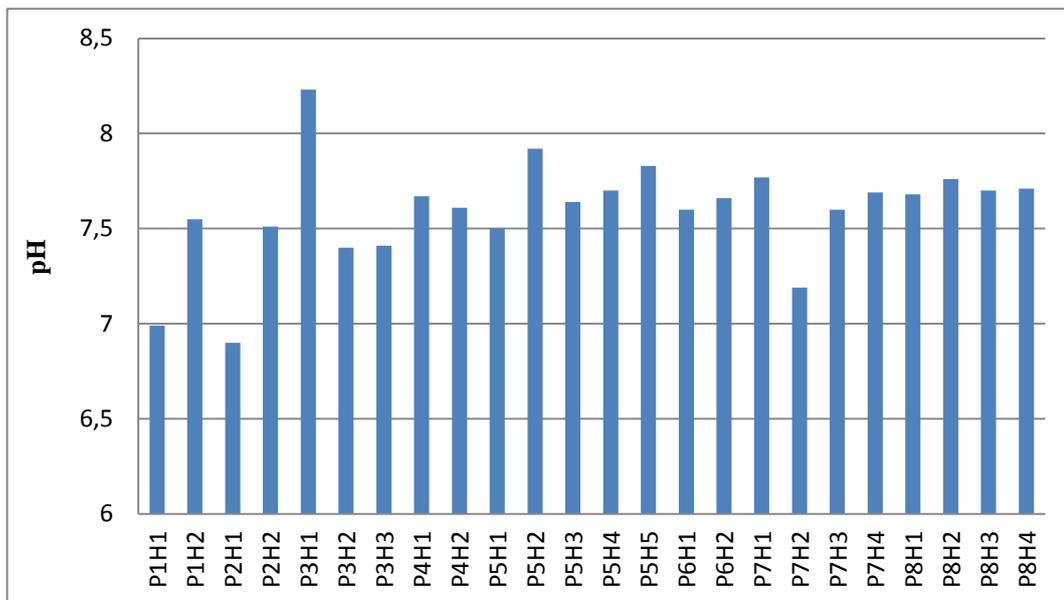


Figure 6: Représentation du pH des échantillons de sol

1.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique a été mesurée sur l'extrait de pâte saturée (solution de sol). Les résultats de l'analyse montrent que les valeurs de la CE sont comprises entre 0.588 et 138.01 dS/m. D'après (USSL, 1954), les échantillons P3H1, P4H1, P5H1, P6H1, P7H1, P8H1, P8H2, P8H3 avec des CE de 1.51, 1.06, 1.61, 0.97, 0.65, 0.65, 0.58 et 1.02 dS/m respectivement sont non salins ($CE < 2$ dS/m), l'échantillon P7H2 est légèrement salin (CE entre 2 et 4 dS/m). Les échantillons P4H2, P5H2, P7H3, P7H4, P8H4 avec des CE de 4.06, 6.546, 5.11, 5.31, 4.49 dS/m respectivement, présentent des CE comprises entre (4 et 8 dS/m) et sont donc salins. Les échantillons P5H3, P5H4, P5H5, et P6H2 présentent des CE de 10.88, 8.14, 10.10 et 10.06 dS/m respectivement (CE entre 8 et 16 dS/m) et sont donc très salins.

Le reste des échantillons présentent des CE qui sont supérieures à 16 dS/m et sont donc extrêmement salins.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

D'après la (figure 8), la plupart des échantillons présentent des CE inférieures à 27.39 dS/m. L'échantillon de P2H1 présente une CE très élevée de 138.01dS/m.

L'échantillon P8H2 présente une conductivité très faible de 1.51 dS/m sachant qu'il se situe vers le centre de la sebkhat.

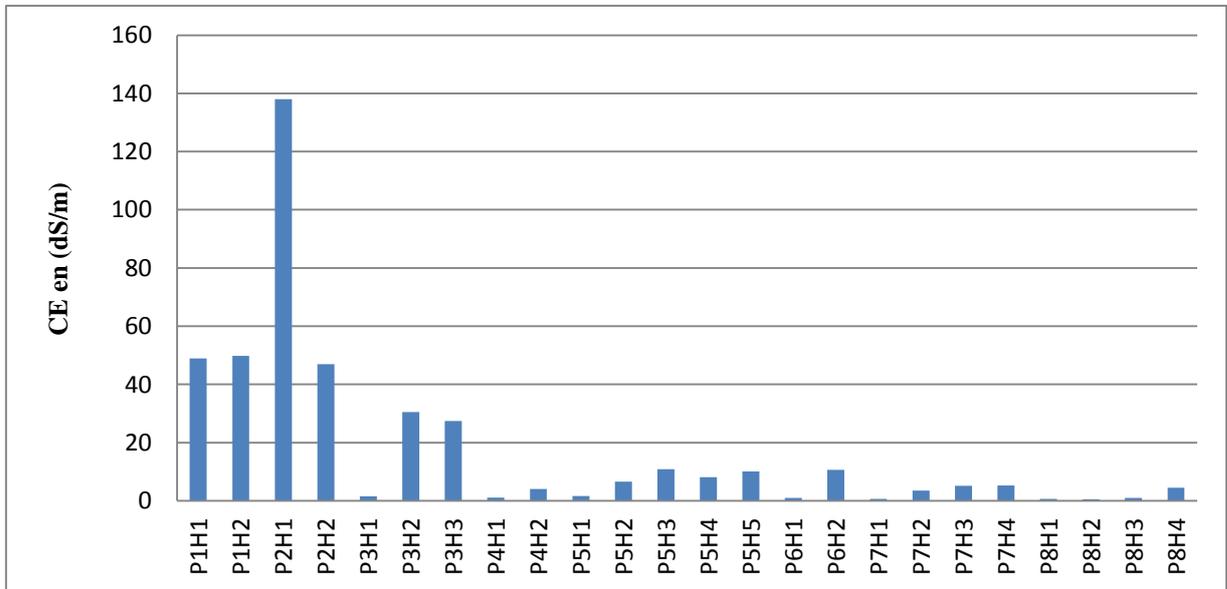


Figure 7: Représentation de la conductivité électrique des échantillons de sol

1.3. Le calcaire total (CaCO_3)

Les résultats du calcaire total montrent que les taux de calcaire varient entre 8.11 et 50.5 %

Les échantillons peuvent être départagés en quatre tranches, la première tranche concerne l'échantillon P5H4 avec une valeur de 8.14 % qui présente un taux faible en CaCO_3 (entre 2 et 10 %).

La deuxième tranche concerne les horizons avec un taux moyen CaCO_3 (entre 10 et 25 %) ces échantillons sont: P3H3, P5H3, P5H5, P6H2 et P7H4 avec des valeurs de (23.17, 18.07, 22.24, 15.99 et 22.01 %) respectivement.

La troisième tranche concerne les horizons avec un taux fort en CaCO_3 (25 à 50 %) ces échantillons sont P1H1, P1H2, P2H1, P2H2, P3H1, P3H2, P4H1, P4H2, P5H1, P5H2, P6H1, P7H1, P7H2, P7H3, P8H1, P8H3, P8H4 avec des valeurs de (43.09, 35.45, 40.31, 28.27, 29.19, 39.85, 36.6, 43.56, 34.52, 27.8, 39.39, 38.91, 41.47, 40.77, 44.48, 44.48, 27.11 %) respectivement.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

La quatrième tranche concerne les horizons avec un taux très fort en CaCO_3 (>50%) un seul échantillon qui est le P8H2, présente une valeur dépassant les 50% (**LOZOT et MATHIEU, 1990**).

D'après la (figure 9) on peut remarquer que la valeur la plus élevée en CaCO_3 correspond au P8H2 cet horizon correspond à une zone d'accumulation de calcaire (encroutement calcaire, croute calcaire ou dalle calcaire).

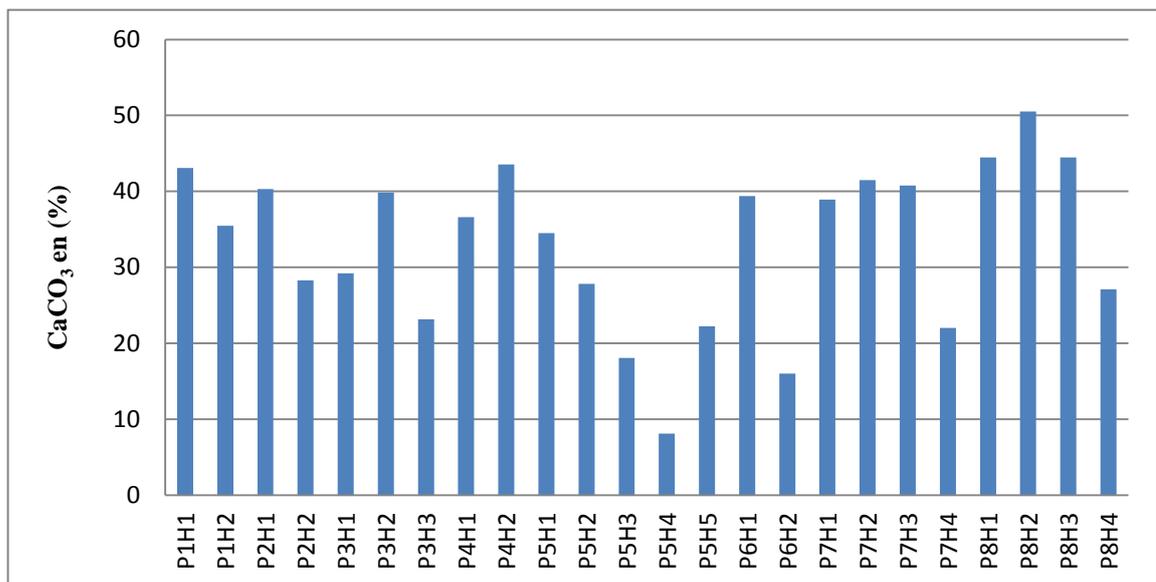


Figure 8: Représentation du calcaire total des échantillons de sol

1.4. Le gypse

En se basant sur les normes de (**BARRANJI, 1973**) et la figure 10, 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 P1H1, P1H2, P2H1, P2H2, P3H1, P3H1, P4H1, P4H2, P5H5, P6H1, P7H1, P7H3, P8H1, P8H2, P8H3, P8H4.

On peut remarquer que la plupart de ces horizons sont des horizons de surface.

- La deuxième catégorie : horizons modérément gypseux (10 à 15 %) on trouve dans cette catégorie P5H3, P5H4, P6H2.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

- La dernière catégorie horizons extrêmement gypseux (25 à 50%) elle renferme le P3H3, P5H2, P7H2, P7H4.

D'après ces résultats il s'avère que les horizons de surface sont légèrement gypseux, et les horizons de sub-surfaces et de profondeur sont les plus gypseux.

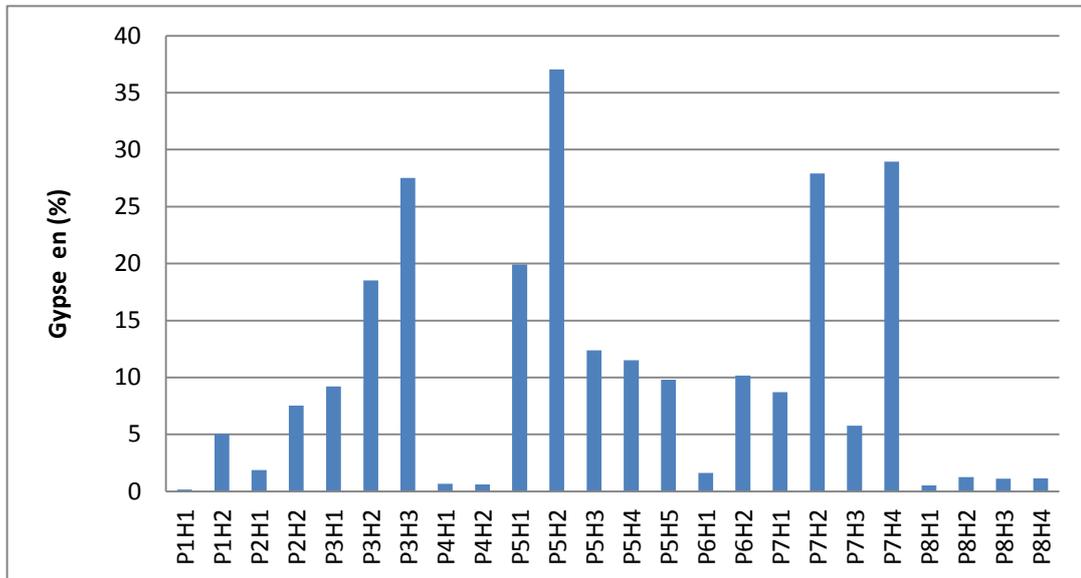


Figure 9: Représentation du gypse des échantillons de sol

1.5. 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 P5H4 avec des valeurs de (15.2 et 11 %) respectivement. Le sol de la région est très riche en matière organique (> 6 %) (Figure 11).

Les taux de la matière organique sont relativement élevés en les comparant avec les valeurs moyennes dans la région sachant que les sebkhat sont des terres dépourvues de végétation ou présentant un faible couvert végétal constitué essentiellement de végétation halophyte, les principales sources des matières organiques dans ce genre de milieu sont des apports extérieurs provenant des déversements des eaux usées par le biais de Oued El Guitoune, Oued Djermane, Oued El Melah.

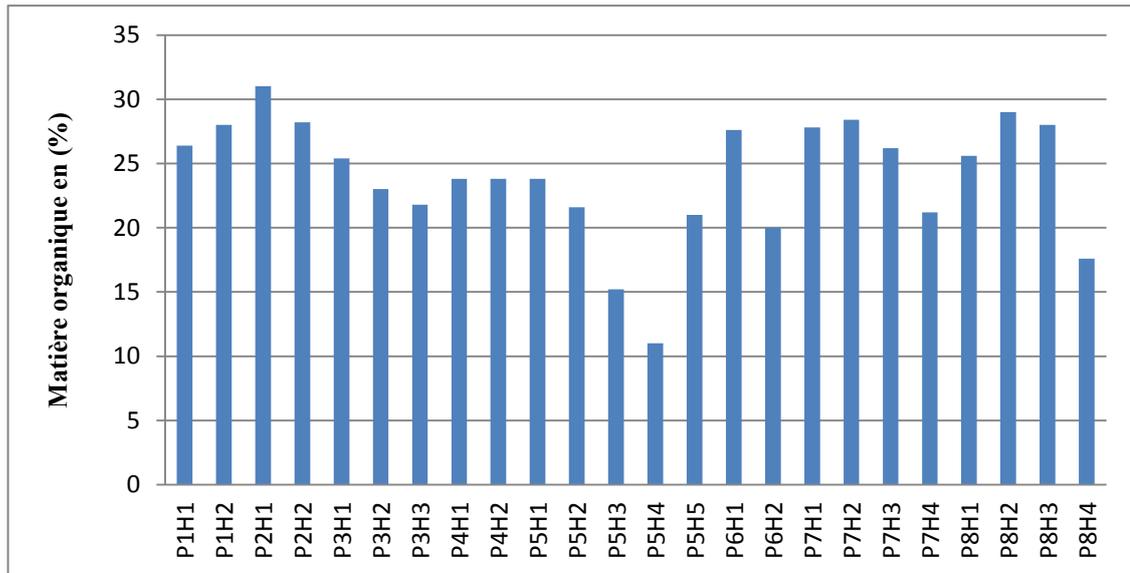


Figure 10: Représentation de la matière organique des échantillons de sol

1.6. L'humidité à saturation

La mesure de l'humidité a été effectuée sur l'extrait de la pâte saturée.

Les résultats de l'analyse montrent que les valeurs de l'humidité à saturation sont très élevées dans les huit échantillons P2H2, P3H3, P5H3, P5H5, P6H2, P7H2, P7H3, P8H3 présentant des taux d'humidité à saturation qui sont supérieurs à 37.2% (figure 12).

Ces résultats indiquent peut être un taux élevé en argile, les argiles sont d'une taille inférieure à $2\mu\text{m}$. Plus la taille de la particule est petite, et plus la microporosité est importante, cette partie de la porosité est celle qui retient 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. Les échantillons à faible humidité à saturation ont une texture plutôt grossière (HENIN, 1976).

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

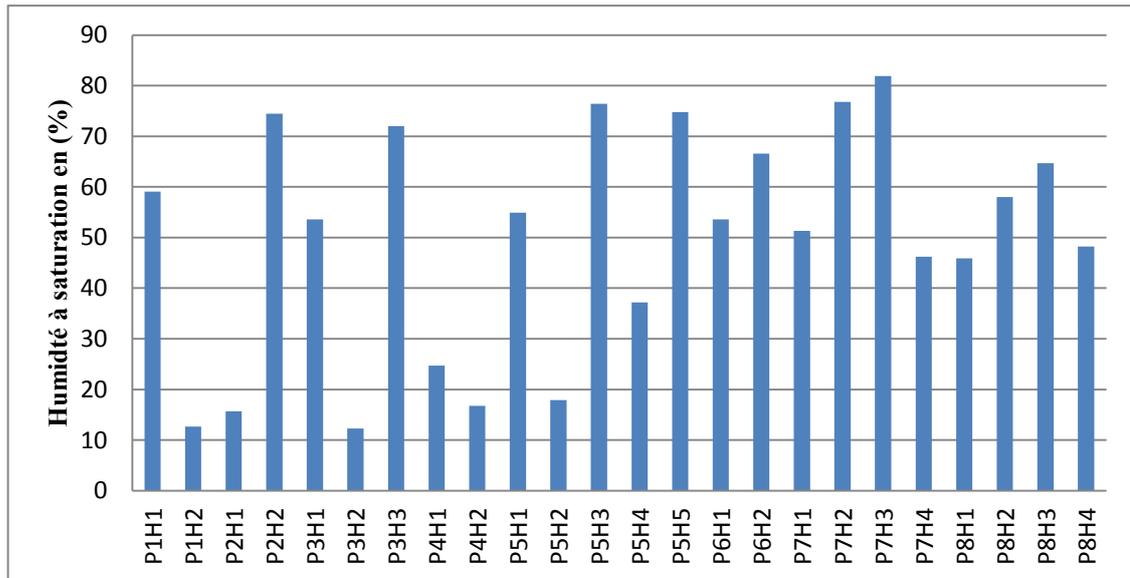


Figure 11: Représentation de l'humidité à saturation des échantillons de sol

1.7. Les anions

Les résultats analytiques des dosages des anions sont présentés dans le tableau X.

Tableau VII: Les résultats analytiques des anions dans la solution

Echantillons	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	BO ₃ ⁻
	(méq/l)	(méq/l)	(méq/l)	(méq/l)	(méq/l)	(méq/l)	(méq/l)	(méq/l)
P1H1	110	20,65	00	0,7	0,413	51,34	1,623	0,068
P1H2	190	11,04	00	0,4	0,186	17,70	0,560	0,016
P2H1	210	23,96	00	0,7	0,442	47,42	1,500	0,16
P2H2	110	22,43	00	0,5	0,196	18,55	0,587	0,004
P3H1	5	7	00	0,8	0,408	21,06	0,666	0,08
P3H2	88	19,5	00	0,6	0,272	23,14	0,732	0,012

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

P3H3	99	22,43	00	0,6	0,202	15,76	0,498	0,032
P4H1	6	2,76	00	0,8	2,100	47,42	1,500	0,04
P4H2	10	8,043	00	0,8	0,507	37,00	1,170	0,064
P5H1	5	6,29	00	0,8	0,180	46,49	1,470	0,052
P5H2	7	12,16	00	0,6	0,093	14,46	0,457	0,052
P5H3	17	16,38	00	0,4	0,185	24,07	0,761	0,076
P5H4	7	4,89	00	0,6	0,133	39,73	1,256	0,06
P5H5	20	17,15	00	0,6	0,182	23,43	0,741	0,056
P6H1	5	5,89	00	0,8	0,165	47,42	1,500	0,02
P6H2	15	8,76	00	0,6	0,239	32,40	1,024	0,076
P7H1	4	1,75	00	0,7	1,055	47,42	1,500	0,016
P7H2	30	3,13	00	0,7	0,051	2,74	0,087	0,008
P7H3	12	14,38	00	0,6	0,121	1,13	0,036	0,08
P7H4	10	15	00	0,6	0,235	23,59	0,746	0,12
P8H1	4	3,28	00	0,8	0,615	51,34	1,623	0,032
P8H2	3	1,65	00	0,7	0,076	4,12	0,130	0,0108
P8H3	8	2,208	00	0,6	0,058	5,30	0,168	0,0024
P8H4	5	10,62	00	0,6	2,011	12,88	0,407	0,12

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.7.1. Chlorure

Le chlorure est l'anion le plus dominant dans la solution du sol sa part varie de 6.48% à 86.40 %, sa concentration est comprise entre 3 méq/l pour l'échantillon P8H2 et 210 méq/l pour l'échantillon P2H1 (figure 13). Sa concentration dans la solution du sol traduit un état de salinité. Les valeurs dépassent largement la norme de toxicité (200 mg/l)(5.6 méq /l) à l'exception des échantillons : P3H1, P5H1, P6H1, P8H1, P8H2, P8H4.

D'après la figure 13, il s'aperçoit que plus on se rapproche du centre de la sebkha plus la concentration en chlorure augmente ce qui suit le gradient de la salinité à l'exception de l'échantillon P3H1 qui présentent une concentration très basse en chlorure sa conductivité électrique est de 1.51 dS/m.

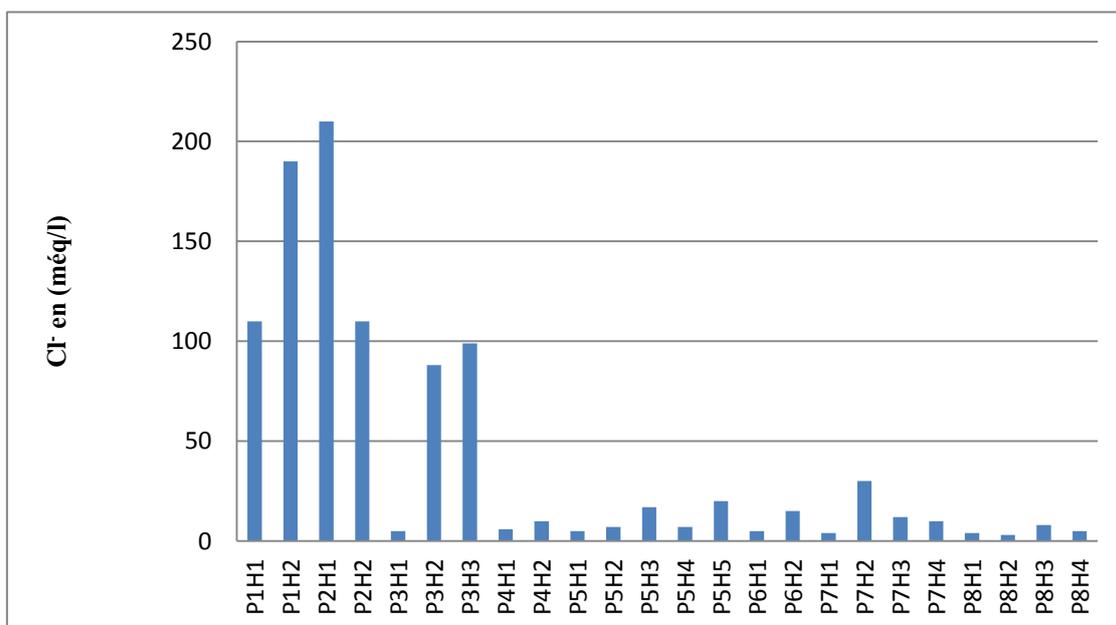


Figure 12: Représentation de la concentration en chlorure des échantillons de sol

1.7.2. Sulfate

Les concentrations en sulfates dans la solution du sol varient de 1.65 méq/l pour l'échantillon P8H2 à 23.96 méq/l pour l'échantillon P2H1 (figure 14). Les sulfates varient de 3.1 % à 50.73 % de l'ensemble des anions.

Le rapport entre Cl/SO_4 est supérieur à 1 pour tous les échantillons à l'exception des échantillons P8H4, P7H4, P7H3, P5H2, P3H1 ou le rapport Cl/SO_4 est inférieur à 1, Ceci montre que le faciès géochimique dominant est de type chloruré (LOYER, 1991).

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Le SO_4^{2-} est un anion qui est contrôlé dans la solution du sol par la précipitation ou la dissolution du 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).

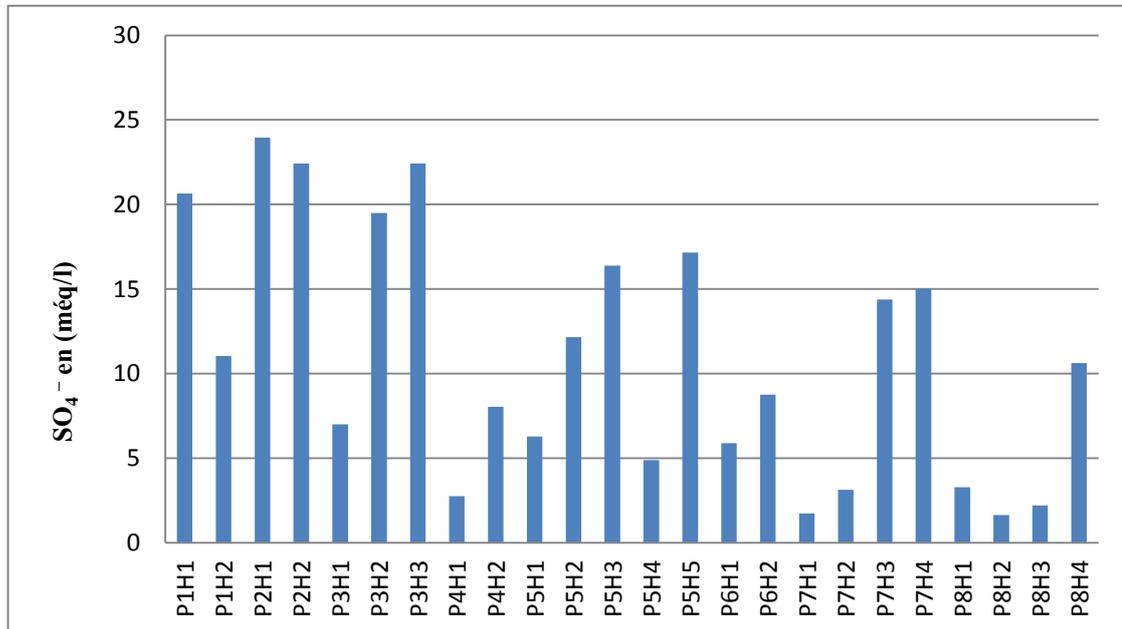


Figure 13: Représentation de la concentration en sulfate des échantillons de sol

1.7.3. Bicarbonate

Les concentrations en bicarbonate (HCO_3^-) dans la solution du sol varient de 0.4 méq/l à 0.8 méq/l. Les bicarbonates varient de 0.18 % à 3.67 % de l'ensemble des anions.

D'après le tableau VII, il s'aperçoit que la concentration en carbonate est nulle pour tous les échantillons de sol. Les sols de sebkhats Bazer 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 ou la dissolution de la calcite:



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

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

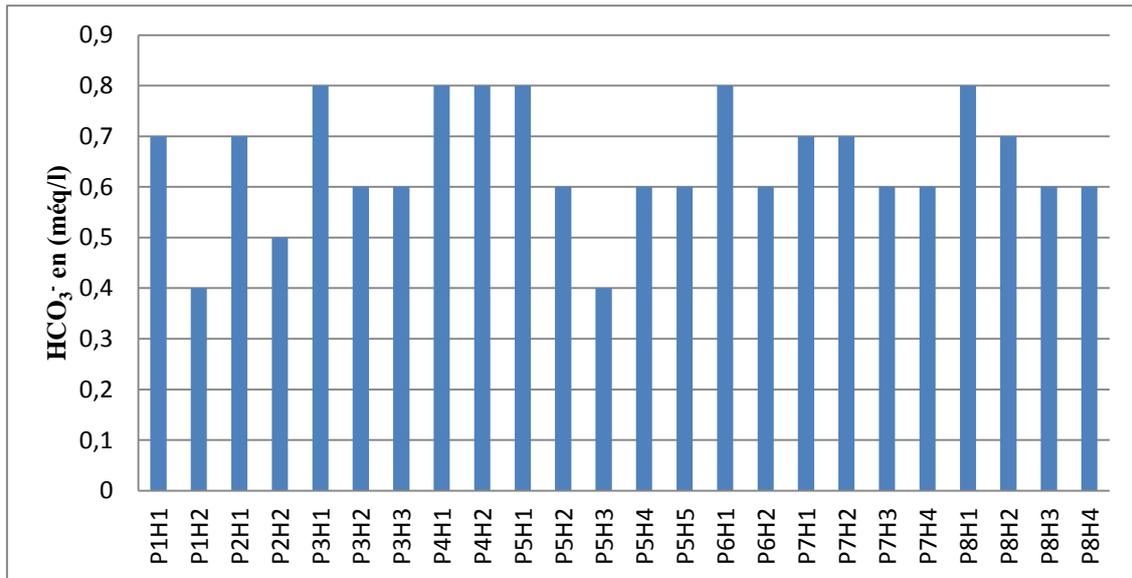


Figure 14: Représentation de la concentration en bicarbonate des échantillons de sol

1.7.4. Nitrate

Les concentrations en nitrate (NO_3^-) dans une solution du sol varient de 0.051 még/l pour l'échantillon P8H3 à 2.1 még/l pour l'échantillon P4H1. Les nitrates représentent une part très faible dans la solution du sol. Ils varient de 0.12 à 6.35 % 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 még/l (ANRH in BEDDIAF, 2014).

Les résultats analytiques et la figure 16 montrent que le : P4H1, P7H1, P8H1 avec des valeurs de (2.1, 1.005, 2.011 még/l) sont supérieures aux normes, 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, et que les trois échantillons correspondent à des horizons de surface.

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

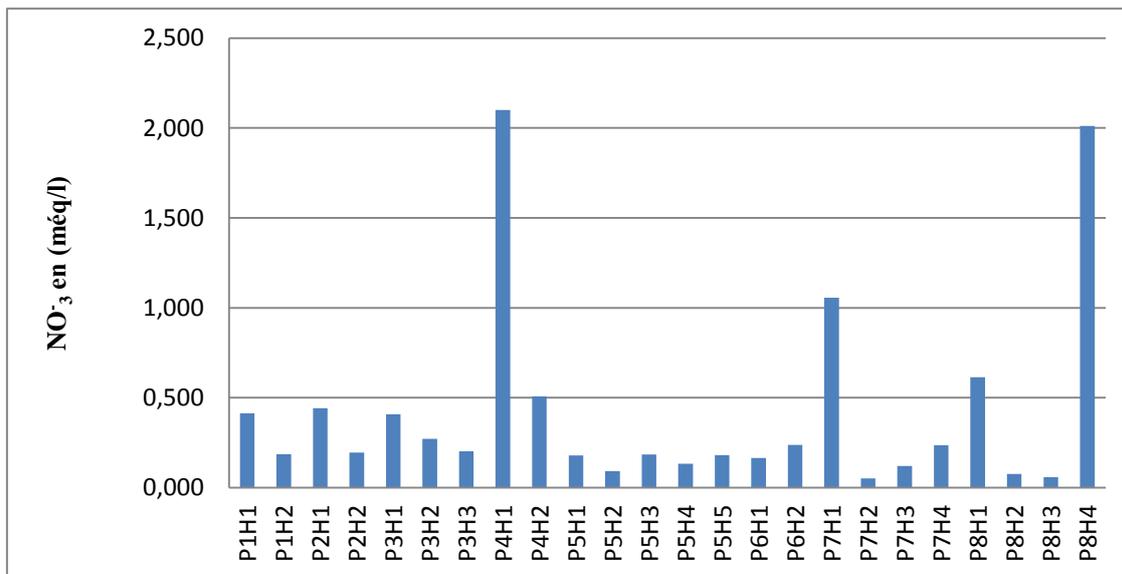


Figure 15: Représentation de la concentration en nitrate des échantillons de sol

1.7.5. Nitrite

Les concentrations en nitrite (NO_2^-) dans une solution du sol varient de 1.13 méq/l pour l'échantillon P7H3 à 51.34 méq/l pour les échantillons P1H1 et P8H1. La part des nitrites dans la solution du sol varient de 3.97 % à 84.01 % de l'ensemble des anions (tableau II, annexes).

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), les concentrations en nitrites de tous les échantillons dépassent la limite du danger de toxicité.

D'après la figure 17, on remarque que les concentrations les plus élevées se trouvent sur des horizons de surface.

Les teneurs élevées en nitrite peuvent être expliquées par le fait que les nitrites proviennent soit de l'oxydation incomplète de l'ammonium soit d'une réduction du nitrate qui sont d'origine agricole sous l'influence des bactéries dénitrifiantes (SARKAR et al. 2007).

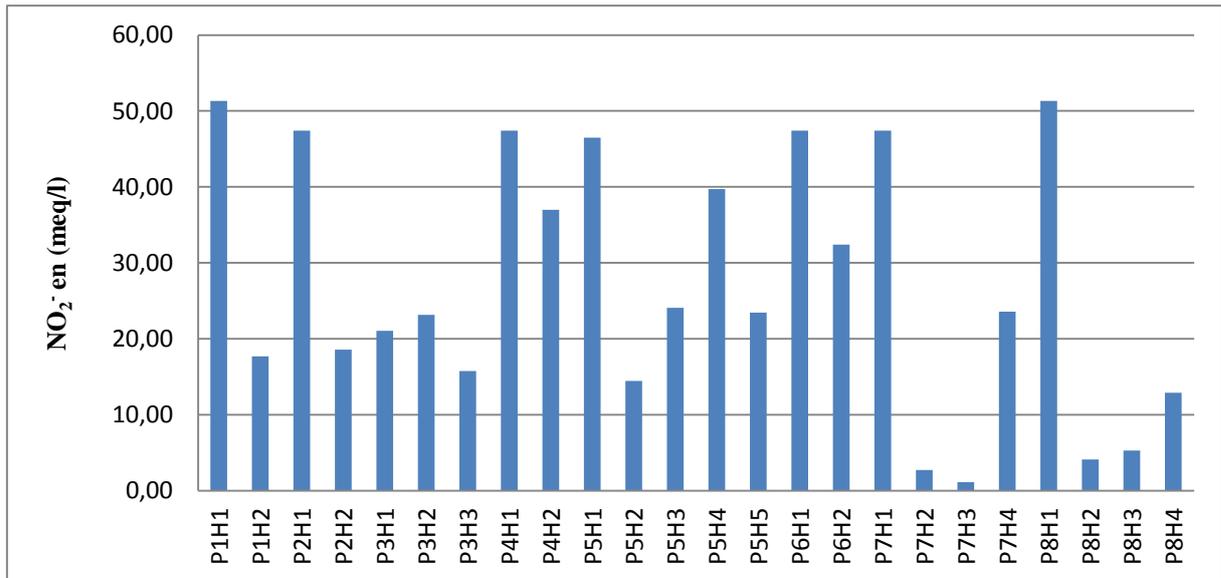


Figure 16: Représentation de la concentration en nitrite des échantillons de sol

1.7.6. Orthophosphate

Les concentrations en orthophosphate (PO_4^{3-}) dans la solution du sol varient de 0.036 méq/l pour l'échantillon P7H3 à 1.62méq/l pour l'échantillon P7H2 (figure 18), La part des orthophosphate dans la solution du sol varie de 0,001 % à 0,026 % de l'ensemble des anions.

Selon les normes algériennes NA 63 60-1992, la norme de pollution par les orthophosphates est de 0.5 mg/l (0.002 méq/l) Selon(ANRH in BEDDIAF, 2014).

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

D'après la (figure 18) on remarque que les concentrations les plus importantes en orthophosphates se trouvent dans les sept échantillons qui sont P1H1,P2H1,P4H1,P4H2, P5H1, P5H4, P6H1, P6H2, P7H1, P8H1 avec des valeurs qui dépassent 1 méq/l. Ces échantillons correspondent à des horizons de surface ce qui suppose que la source des orthophosphates est extérieure.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

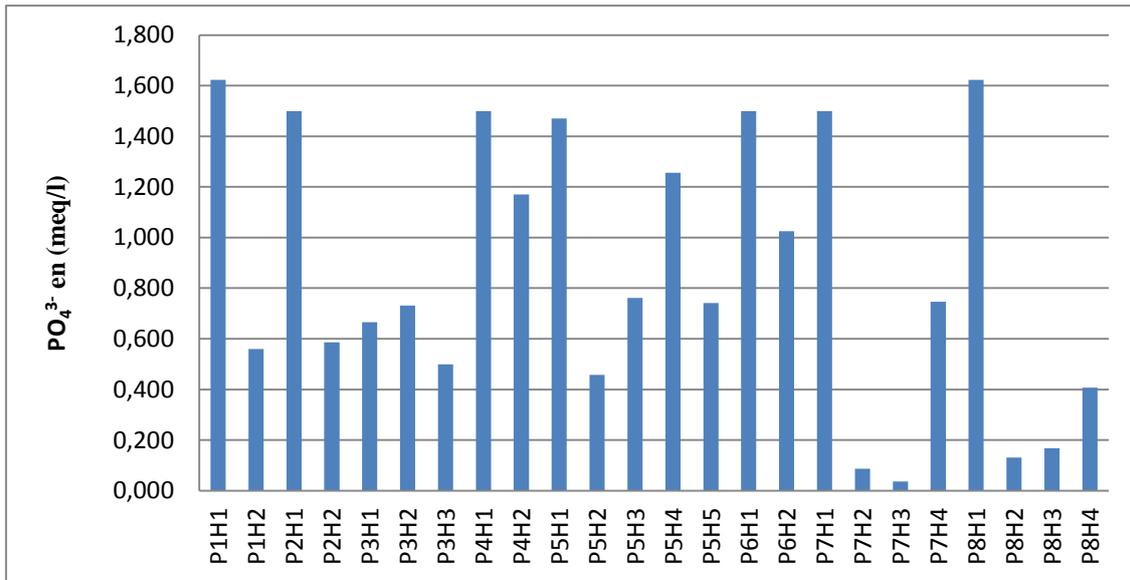


Figure 17: Représentation de la concentration en orthophosphate des échantillons de sol

1.7.7. Borate

Les concentrations en borate (BO_3^-) dans la solution du sol varient de 0.0024 méq/l pour l'échantillon P8H3 à 0.16 méq/l pour l'échantillon P2H1 (figure 19), Les borates varient de 0.002% à 0.37% 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 P2H1, P3H1, P4H2, P5H1, P5H2, P5H3, P5H4, P5H5, P6H2, P7H3, P7H4, P8H2, P8H4 sont supérieures à la limite du danger de toxicité pour les plantes fixée à 1.5mg/l (0.05 méq/l) par (USSSL, 1954).

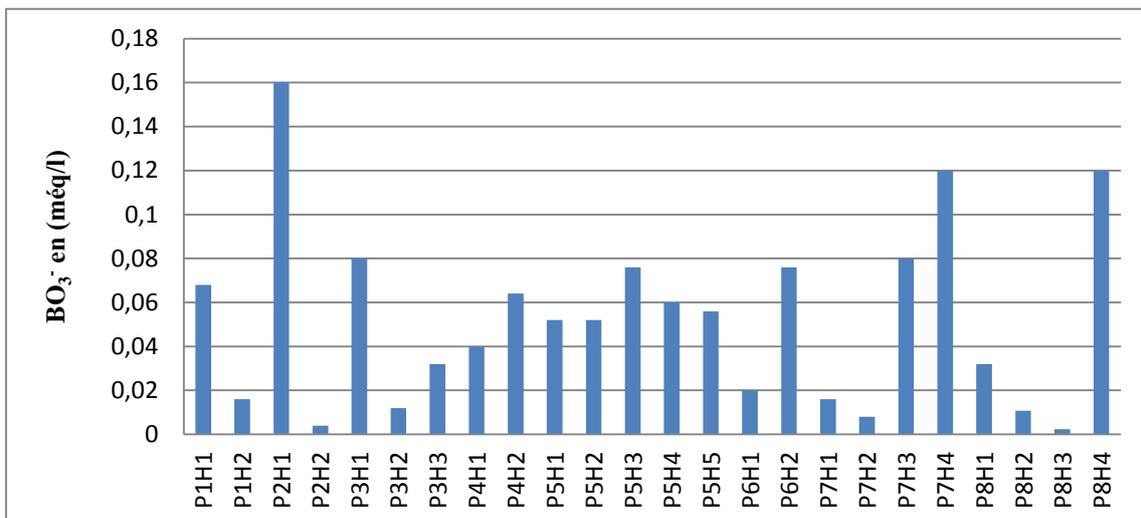


Figure 18: Représentation de la concentration en borate des échantillons de sol

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

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

1.8.1. Profil N° 1

D'après la (figure 20), les profils de distribution des sulfates, bicarbonates, nitrate, nitrite, orthophosphate, et borate sont de type descendant à l'exception de celui des chlorure qui est de type ascendant.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

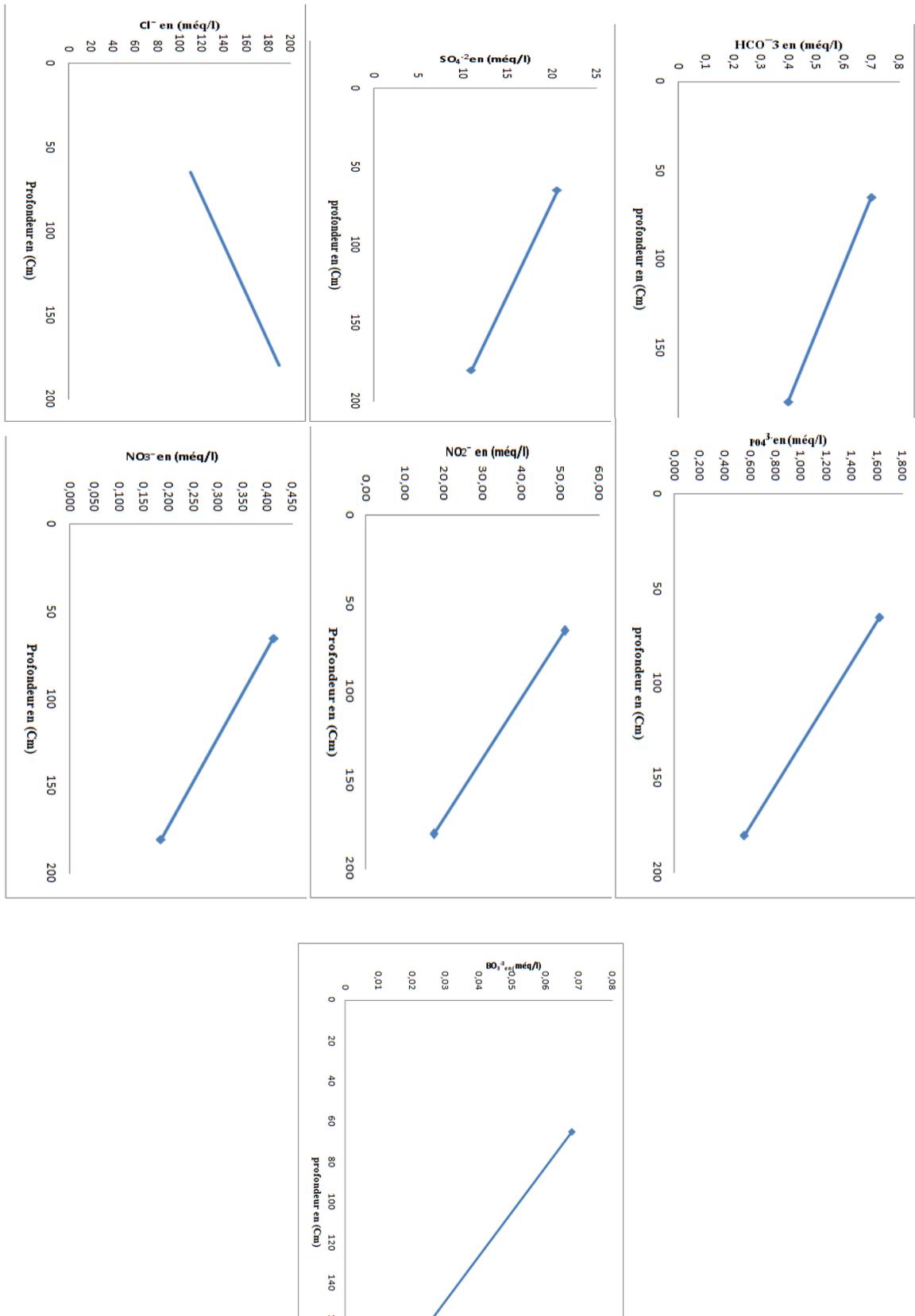


Figure 19: Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 01

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.8.2. Profil N° 2

D'après la (figure 21), les profils de distribution de tous les anions (chlorure, sulfates, bicarbonates, nitrate, nitrite, orthophosphate, et borate) sont de type descendant.

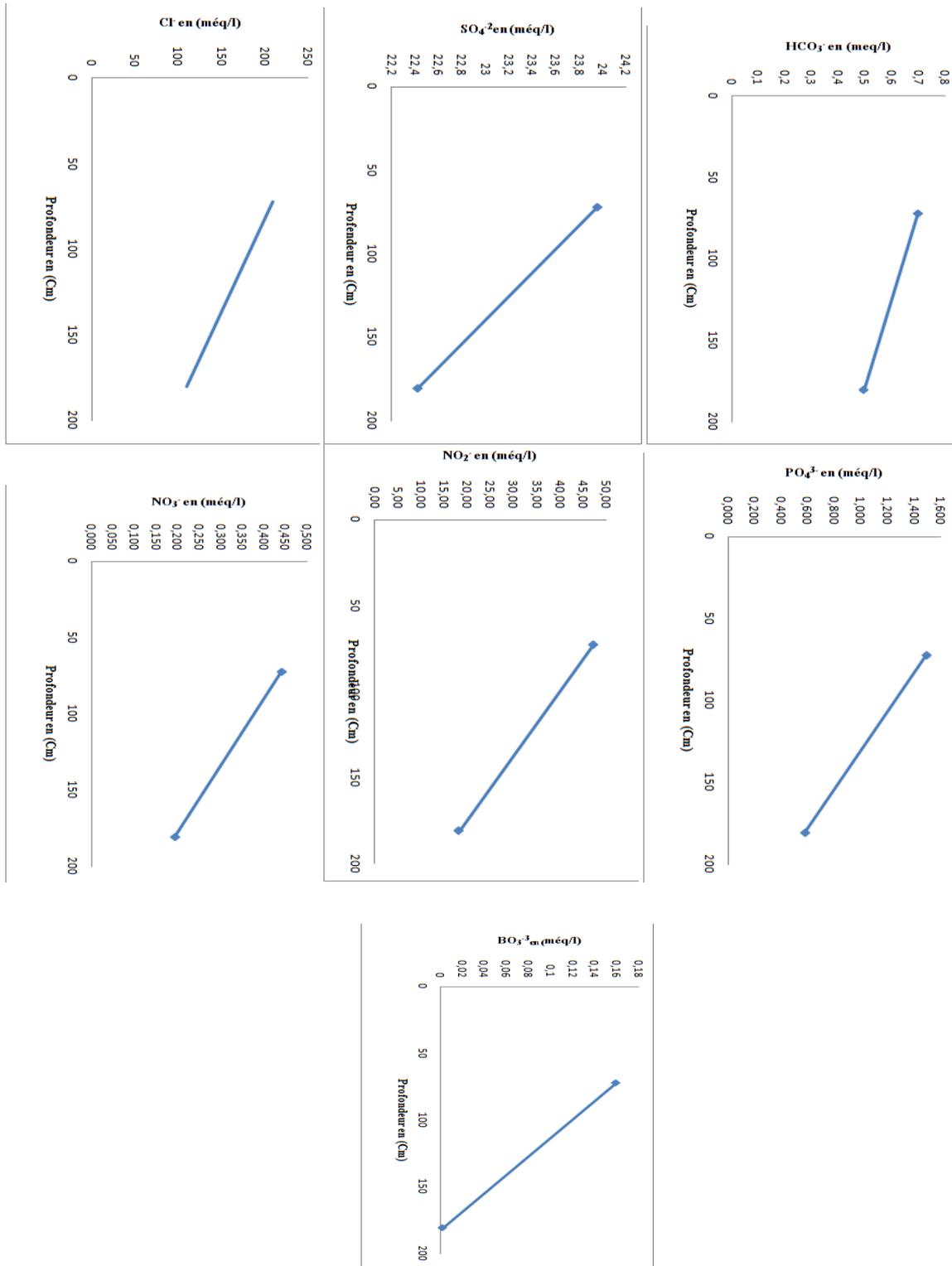


Figure 20: Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 02

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.8.3. Profil N° 3

D'après la (figure 22), Le profil de distribution des chlorures est de type ascendant, La concentration en chlorure est relativement stable entre le second et le troisième horizon (77 à 125cm).

Le profil de distribution des sulfates est de type ascendant. La concentration en sulfates est relativement stable entre le second et le troisième horizon (77 à 125cm).

Le profil de distribution des bicarbonates est de type descendant. La concentration en chlorure est relativement bicarbonates entre le second et le troisième horizon (77 à 125cm).

Le profil de distribution des nitrate est de type descendant.

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant mais on remarque une augmentation dans la concentration des nitrites au niveau de l'horizon N°2.

Le profil de distribution des orthophosphate est de type descendant mais on marque une légère augmentation dans la concentration des orthophosphate au niveau de l'horizon N°2.

Le profil de distribution des borates est de type descendant.

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 de type ascendant sont : Cl^- , SO_4^- , et ceux dont le profil est descendant sont : NO_3^- , NO_2^- , PO_4^- , HCO_3^- , BO_3^- .

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

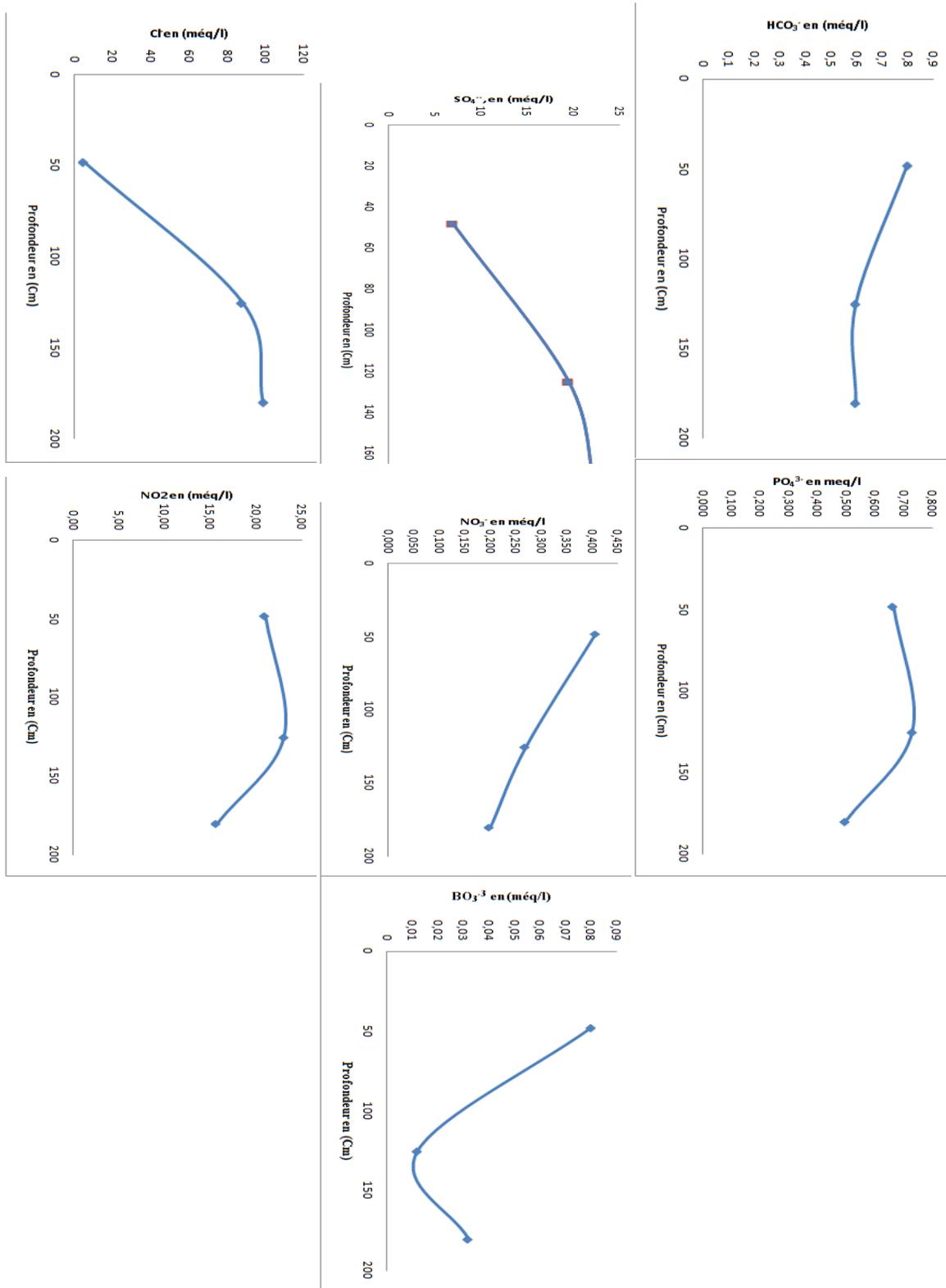


Figure 21: Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 3

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.8.4. Profil N° 4

D'après la (figure 23), les profils de distributions des chlorure, sulfates, et borate en fonction de la profondeur est de type ascendant.

Les de nitrates, nitrites, et orthophosphate présentent un comportement descendant en fonction de la profondeur N°4.

Les concentrations en bicarbonates sont stables dans le profil.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

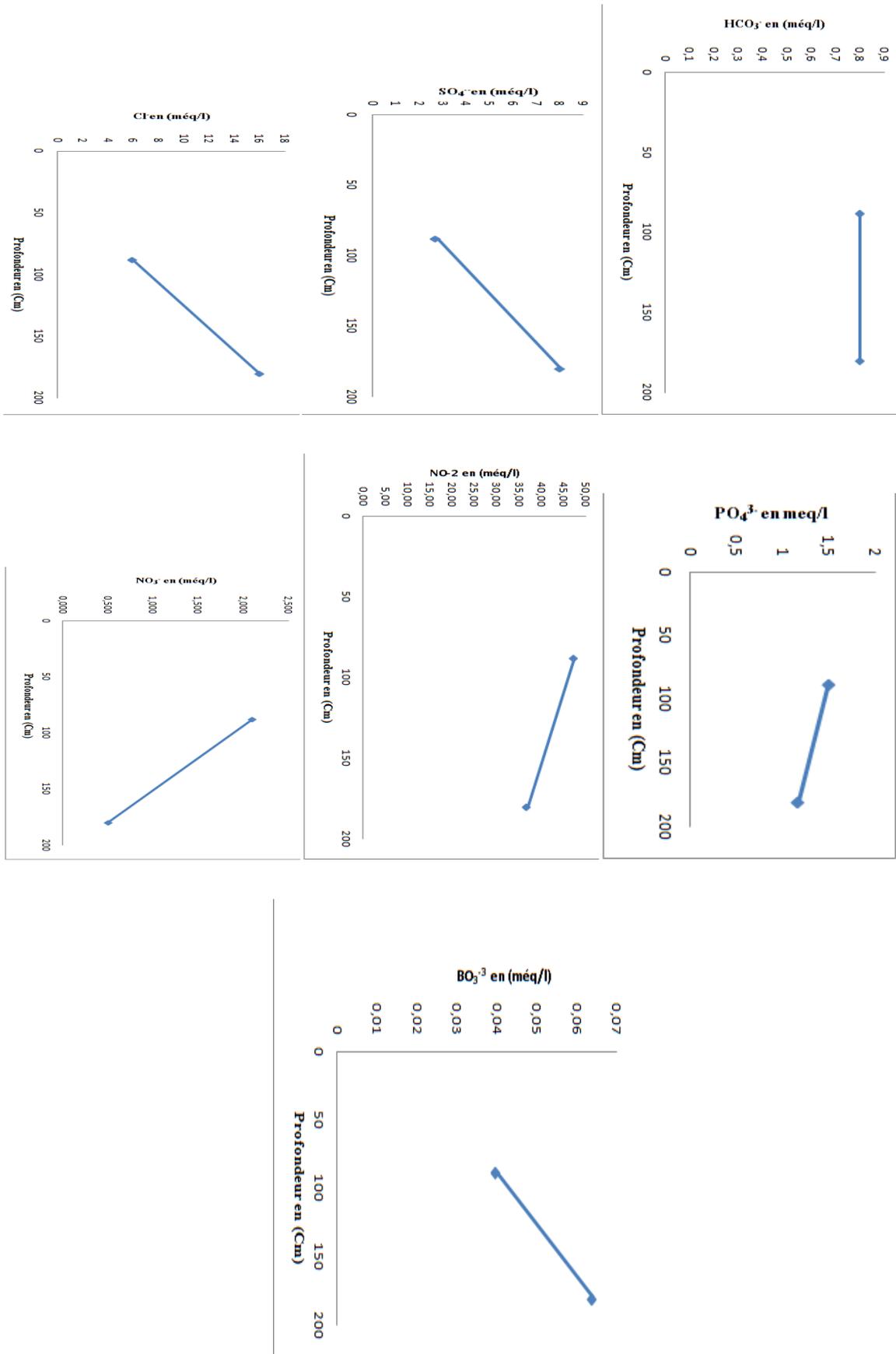


Figure 22: Les profils de distribution des anions en fonctions de la profondeur du profil N°4

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.8.5. Profil N° 5

D'après la (figure 24), Le profil de distribution des chlorures est de type ascendant avec une nette augmentation de la concentration en chlorure entre le troisième et le quatrième horizon (12 et 15 cm)

Le profil de distribution des sulfates est de type ascendant mais avec une nette diminution de la concentration en sulfates entre le troisième et le quatrième horizon (12 et 15 cm)

Le profil de distribution des bicarbonates est de type descendant avec une diminution brutale au niveau de l'horizon N°3.

Le profil de distribution des nitrates est de type descendant avec une nette augmentation de la concentration entre l'horizon 2 et 3 (81 et 12 cm).

Le profil de distribution des nitrites est de type descendant mais. On remarque une augmentation de la concentration entre les horizons 2 et 4 (81 et 15 cm).

Le profil de distribution des orthophosphates est de type descendant. On peut observer une augmentation de la concentration entre les horizons 2 et 4 (81 et 15 cm).

Le profil de distribution des borates est assez stable avec une nette augmentation entre l'horizon 2 et 3 (81 et 15 cm)..

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 de type ascendant sont : Cl^- , SO_4^- , et ceux dont le profil est descendant sont : NO_3^- , NO_2^- , PO_4^- , HCO_3^- .

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

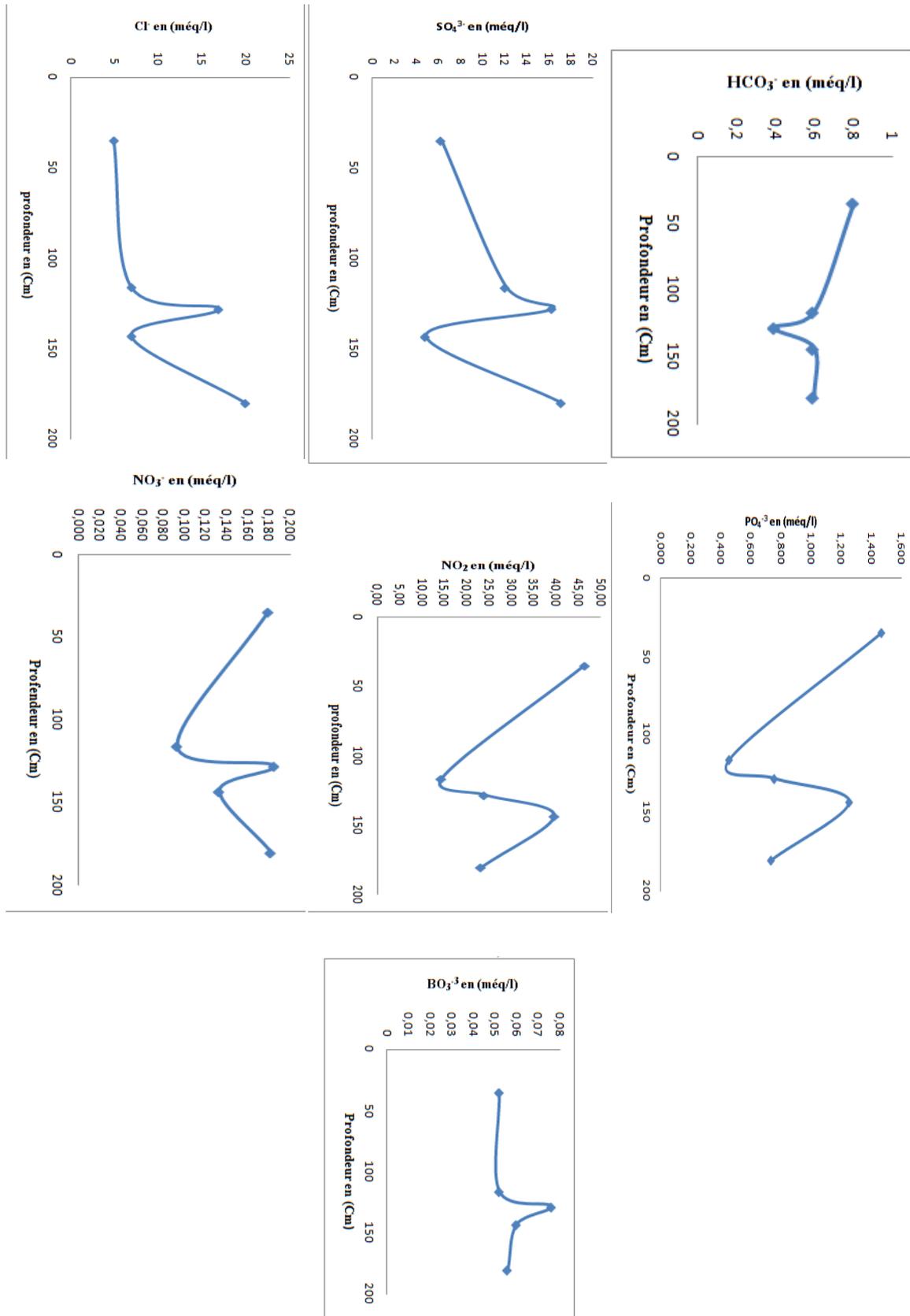


Figure 23: Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°5

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.8.6. Profil N°6

D'après la (figure 25), les profils de distribution des chlorures, sulfates, nitrites et orthophosphates en fonction de la profondeur sont de type descendant.

Les profils de distribution des bicarbonates, nitrates et borates sont de type ascendant.

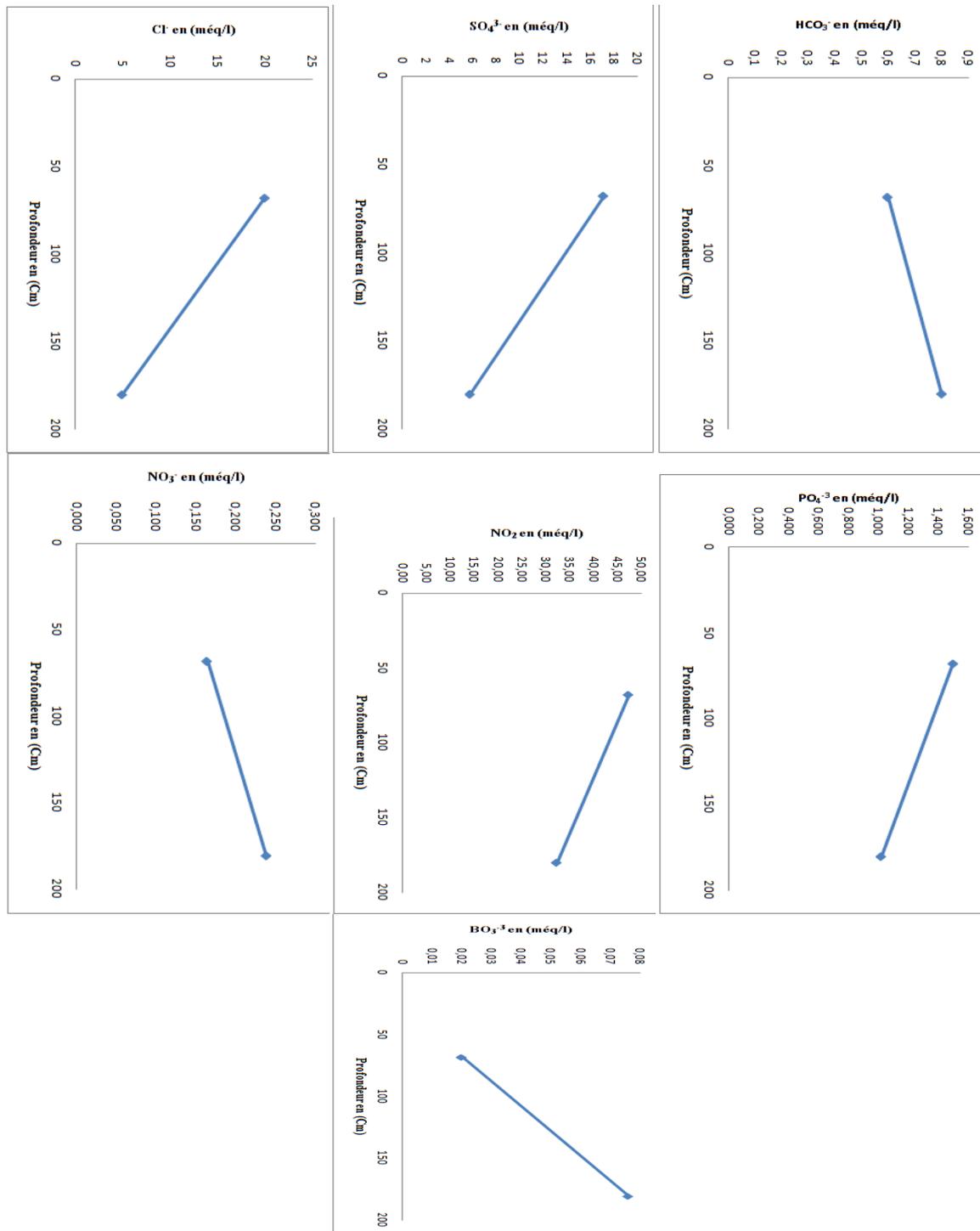


Figure 24: Les profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N° 6

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.8.7. Profil N° 7

D'après la (figure26), Le profil de distribution des chlorure est de type ascendant, avec une stabilisation entre les horizons 3 et 4 (68 à 137 cm).

Le profil de distribution des sulfates est de type ascendant. La concentration est assez stable entre les horizons 1 et 2 et entre les horizon 3 et 4(68 à 137 cm).

Le profil de distribution des sulfates est de type descendant. La concentration est assez stable entre les horizons 1 et 2 et entre les horizon 3 et 4(68 à 137 cm).

Le profil de distribution des nitrates, nitrites et orthophosphates sont de type descendant.

Le profil de distribution des borates en fonction de la profondeur et de type ascendant. La concentration est assez stable entre le premier et le second horizon (25 à 44cm).

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 ascendant sont : Cl^- , SO_4^- , BO_3^- et ceux dont le profil est les descendant sont : NO_3^- , NO_2^- , PO_4^- , HCO_3^- .

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

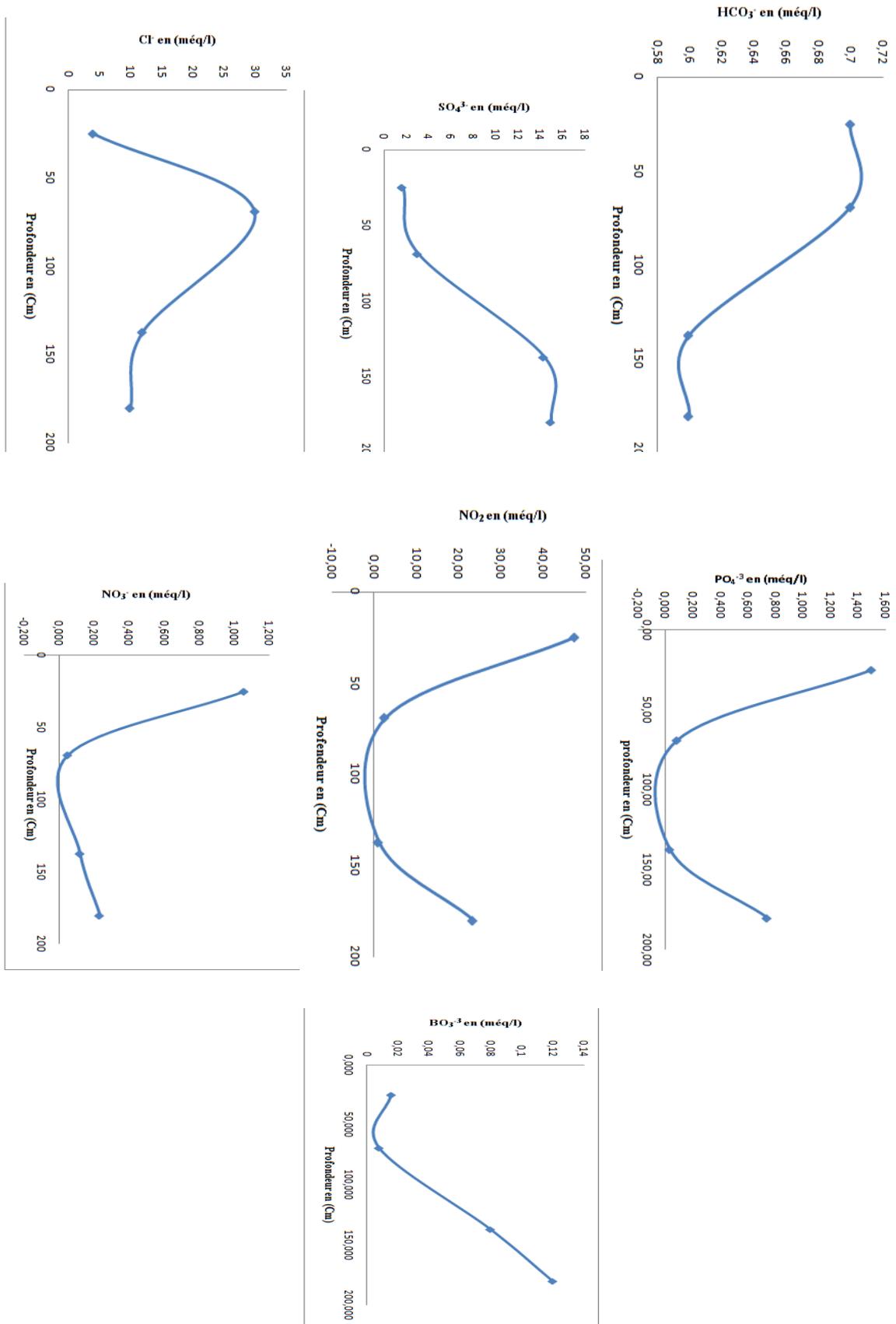


Figure 25: Les profils de distribution des anions en fonctions de la profondeur du profil N° 7

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1.8.8. Profil 08

D'après la (figure 24), Le profil de distribution des chlorure est stable avec une augmentation de la concentration entre les horizons 2 et 3(29 à 119 cm).

Le profil de distribution des sulfates est de type ascendant.

Le profil de distribution des bicarbonates est de type descendant.

Le profil de distribution des nitrates est de type ascendant.

Le profil de distribution des borates est de type ascendant.

L'analyse des profils de distribution des anions en fonction de la profondeur du profil N°08 montre que les anions dont le profil est ascendant sont : SO_4^- , NO_3^- , BO_3^- et ceux dont le profil est le descendant : HCO_3^- , NO_2^- , PO_4^- .

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

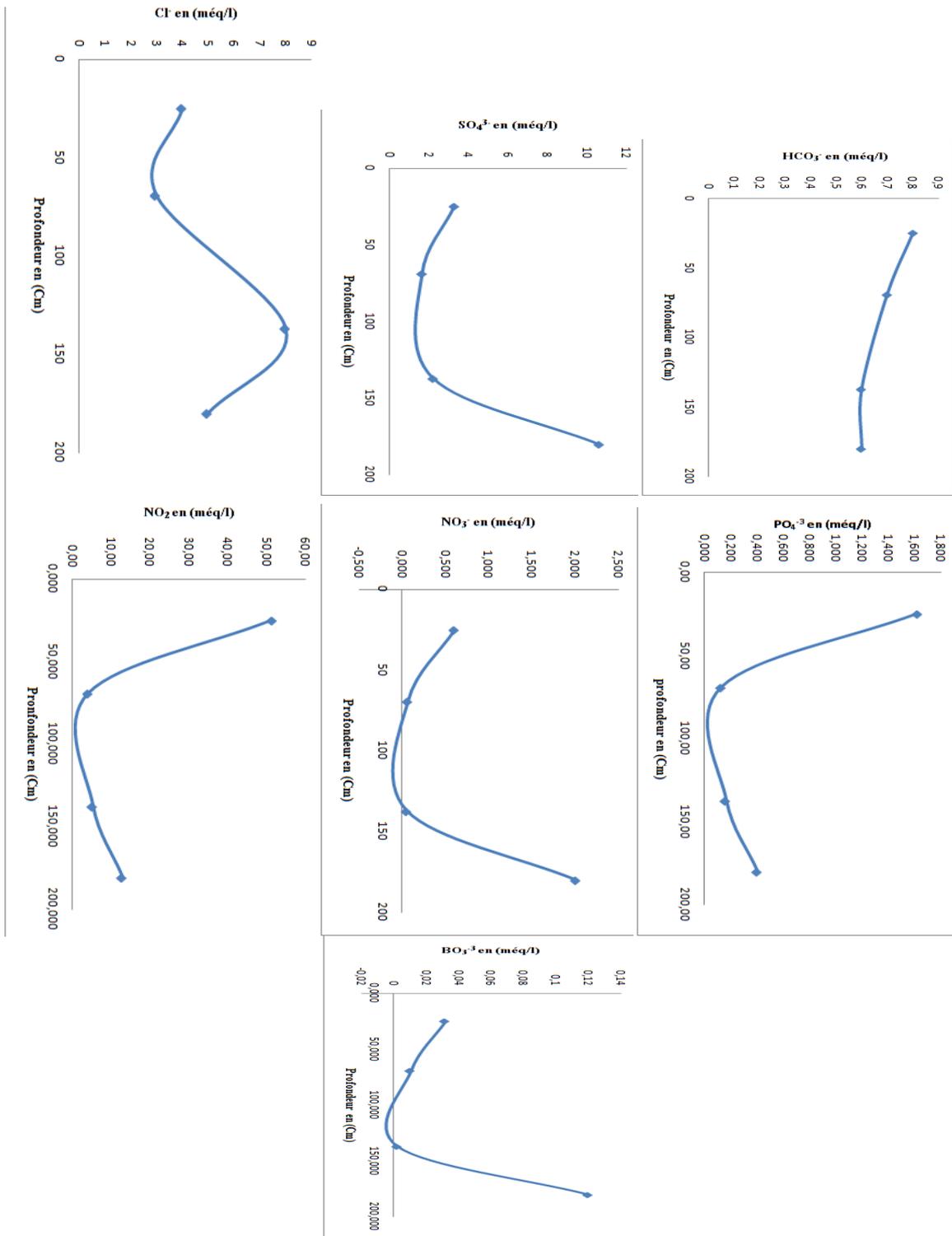


Figure 26 : Les profils de distribution des anions en fonctions de la profondeur du profil N° 8

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse des profils de distribution des anions solubles en fonction de la profondeur montre que : Les borates ne présentent pas un comportement particulier en fonction de la profondeur.

Les profils de distribution des chlorures et sulfates sont généralement ascendants.

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

1.9. Analyse en composantes principales (ACP) :

Corrélation positive significative entre : 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 28) expriment 50.77% de la variabilité.

L'axe I (facteur 1) a absorbé 27.03 % de la variation, cet axe associe les paramètres suivants: CaCO₃ et. Humidité, Ph, NO₂, HCO₃, NO₃ et PO₄

L'axe II (facteur 1) a absorbé 22.42 % de la variation, cet axe associe les paramètres suivants : SO₄⁻, BO₃⁻, le gypse, Matière Organique, CE et Cl

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 de 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 VIII) 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 les couples

NO₂/ PO₄ (r=1), CE /Cl (r=0.9), CaCO₃/MO (r=0.81).

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Corrélations significatives positive entre les couples :

Le couple CE/ SO_4^- ($r=0.66$)

Le couple pH/ Cl^- ($r=0.66$)

Le couple Cl^- / SO_4^- ($r=0.64$)

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

PH/CE ($r=-0.69$)

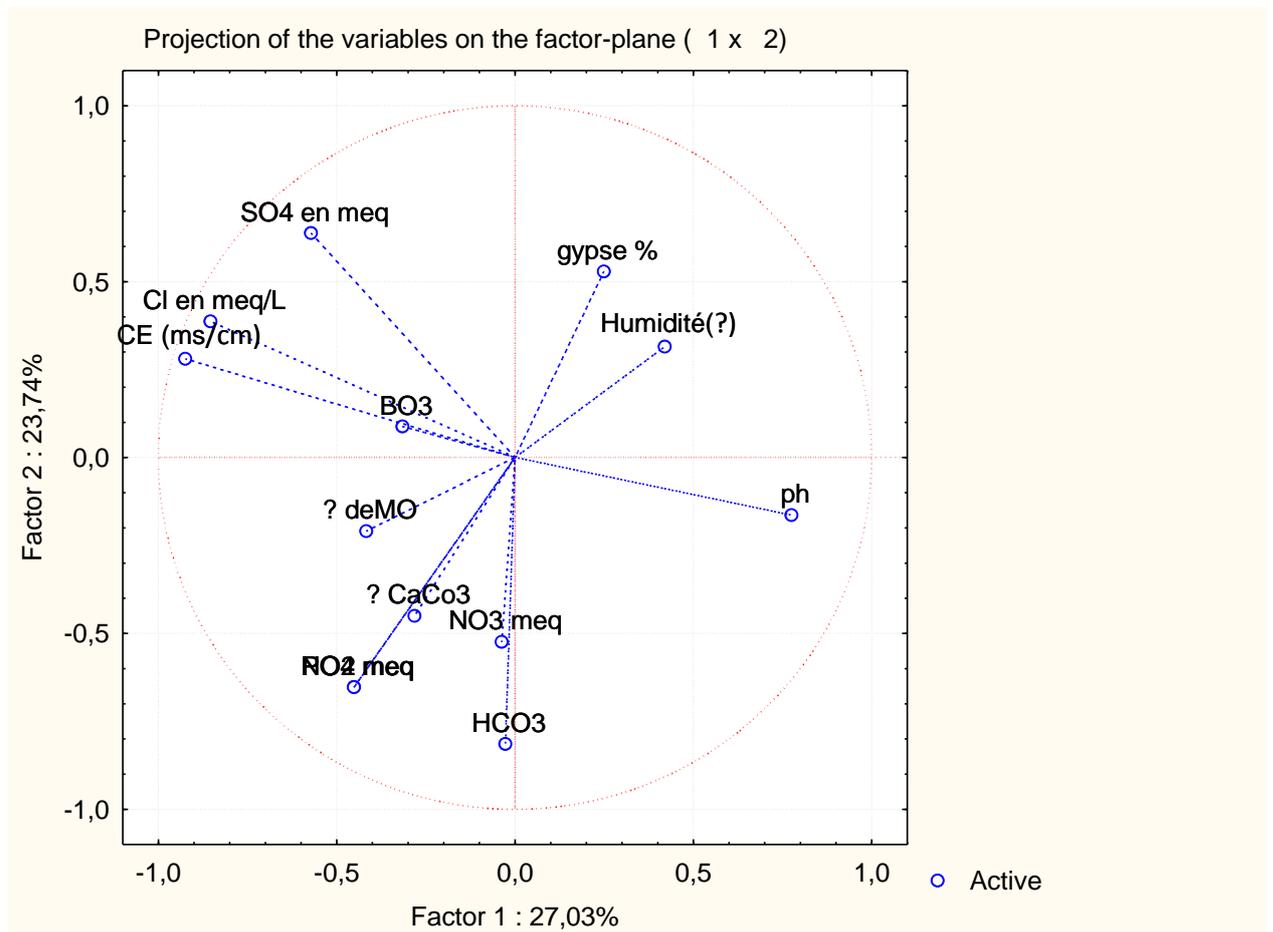


Figure 27 :Représentation des variables sur le plan F1 x F2 de l'ACP

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VIII : Matrice de corrélation

Variable	Correlations (Spreadsheet1)												
	CE (ms /c	ph	CaCo3	gypse %	Humidité	MO	NO3 meq	NO2 meq	PO4 meq	BO3	HCO3	Cl en meq/L	SO4 en meq
CE (ms/cm)	1	0,691	0,088	-0,143	-0,316	0,335	-0,097	0,205	0,205	0,383	-0,202	0,908	0,667
ph	-0,691	1,000	-0,291	-0,035	0,058	0,315	0,102	-0,230	-0,230	-0,129	0,025	-0,665	-0,473
? CaCo3	0,088	0,291	1,000	-0,416	-0,165	0,815	0,057	0,014	0,014	-0,321	0,467	0,122	-0,248
gypse %	-0,143	0,035	-0,416	1,000	0,170	0,270	-0,366	-0,288	-0,288	-0,032	-0,206	-0,056	0,205
Humidité	-0,316	0,058	-0,165	0,170	1,000	0,028	-0,262	-0,342	-0,342	-0,145	-0,148	-0,312	0,026
? de MO	0,335	0,315	0,815	-0,270	-0,028	1,000	-0,112	-0,031	-0,031	-0,290	0,313	0,383	-0,047
NO3 meq	-0,097	0,102	0,057	-0,366	-0,262	0,112	1,000	0,292	0,292	0,224	0,268	-0,155	-0,205
NO2 meq	0,205	0,230	0,014	-0,288	-0,342	0,031	0,292	1,000	1,000	0,181	0,492	0,068	-0,052
PO4 meq	0,205	0,230	0,014	-0,288	-0,342	0,031	0,292	1,000	1,000	0,181	0,492	0,068	-0,052
BO3	0,383	-0,129	-0,321	-0,032	-0,145	0,290	0,224	0,181	0,181	1,000	0,020	0,112	0,374
HCO3	-0,202	0,025	0,467	-0,206	-0,148	0,313	0,268	0,492	0,492	0,020	1,000	-0,356	-0,452
Cl en meq/L	0,908	-0,665	0,122	-0,056	-0,312	0,383	-0,155	0,068	0,068	0,112	-0,356	1,000	0,649
SO4 en meq	0,667	-0,473	-0,248	0,205	0,026	0,047	-0,205	-0,052	-0,052	0,374	-0,452	0,649	1,000

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 29 on remarque 2 groupes:

Groupe 1: P1H1, P1H2, P2H1, P2H2, P3H2, P3H3.

Groupe 2: P3H1, P5H3, P5H4, P5H5, P6H2, P7H2, P7H3, P7H4, P8H2, P8H3, P8H4.

P4H1, P4H2, P5H1, P5H2, P6H1, P7H1, P8H1

D'après la (figure 29) On peut remarquer que le groupe 01 comporte les horizons des trois profils qui sont proches du centre de la sebkhat et qui sont caractérisés par une CE, Cl⁻, SO₄⁻ et un taux de matière organique qui sont élevés, le groupe 02 comporte des horizons de profondeur qui sont caractérisés par un taux élevé de calcaire et de gypse

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

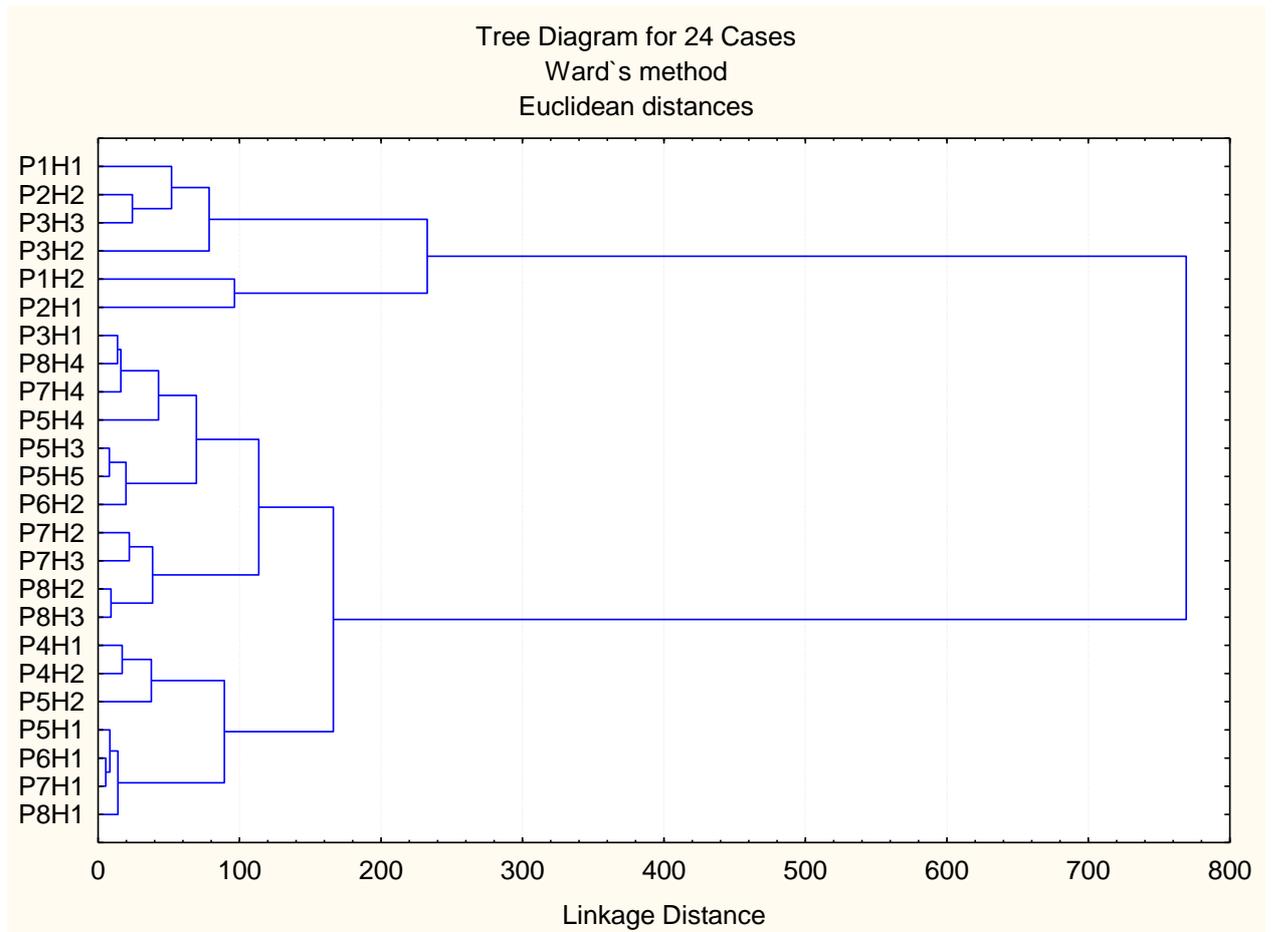


Figure 28: Dendrogramme de la classification des différents horizons en fonction des Caractéristiques du sol selon la méthode de WARD.

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 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 IX

Tableau IX : Les concentrations des métaux lourds dans les échantillons de sol en (ppm)

Ech	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
P1H1	2.45	29.80	4115.98	16.21	1.64	5.17	3.77	0	0	0
P2H1	19.02	92.02	7381.21	33.92	7.24	14.51	0	0	0	3.45

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

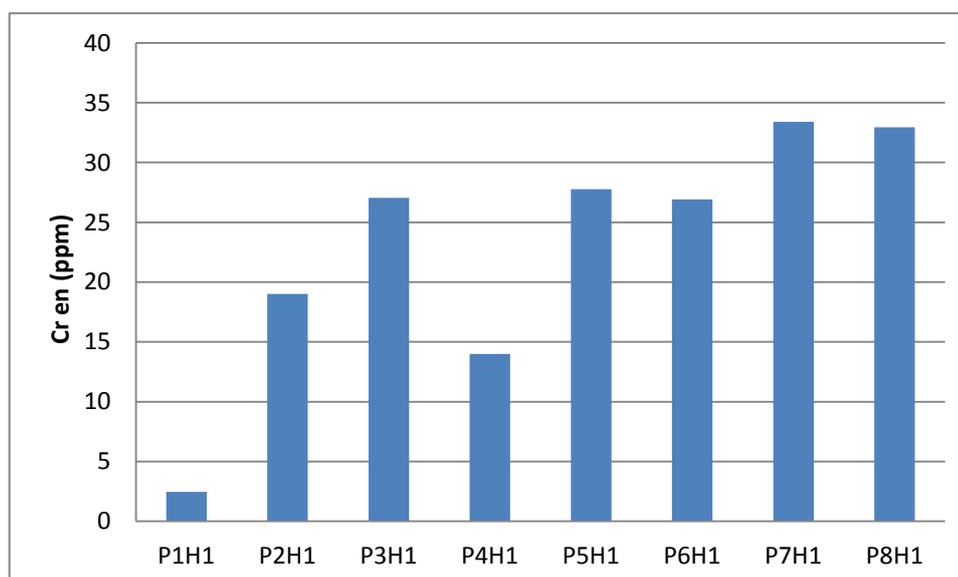
P3H1	27.04	108.35	31124.84	112.73	7.24	14.51	0	0.17	0.12	3.33
P4H1	27.77	86.29	9108.65	23.65	5.85	16.08	4.62	0	0	1.12
P5H1	26.90	86.18	5257.44	15.21	3.90	19.31	5.19	0	0	2.12
P6H1	33.39	87.63	5836.39	17.55	5.18	20.26	5.42	0	0	1.92
P7H1	33.39	101.44	10465.22	25.51	5.49	21.85	3.96	0	0	1.72
P8H1	32.95	106.90	12695.70	34.79	6.26	22.36	3.44	0	0	1.76

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. Chrome

La concentration en chrome oscille entre 2.45 ppm à 33.39ppm, la plus forte concentration a été enregistrée avec l'échantillon P7H1 et P8H1 (figure 30).

Selon **AFNOR U 44-041 (1985)**, la norme de pollution par le chrome(Cr) dans le sol est de150 mg/kg (150ppm). Les échantillons étudiés sont inférieurs aux normes de pollution.



Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure 29: Représentation de la concentration totale en chrome des échantillons de sol

1.11.2. Manganèse

La concentration en manganèse oscille entre 29.80 ppm pour l'échantillon P1H1 et 108.35 ppm pour l'échantillon P3H1.

La concentration la plus importante en Manganèse des échantillons étudiés est enregistrée avec l'échantillon P3H1 (figure 31).

Selon **GODIN(1983)**, la norme de pollution par le manganèse (Mn) dans le sol est fixée à 270 mg /kg. Tous les échantillons des sols de sebkha Bazer présentent des concentrations inférieures aux normes, cet élément est essentiel pour les plantes mais jusqu'à une valeur de 270 ppm, à partir de cette valeur il devient toxique.

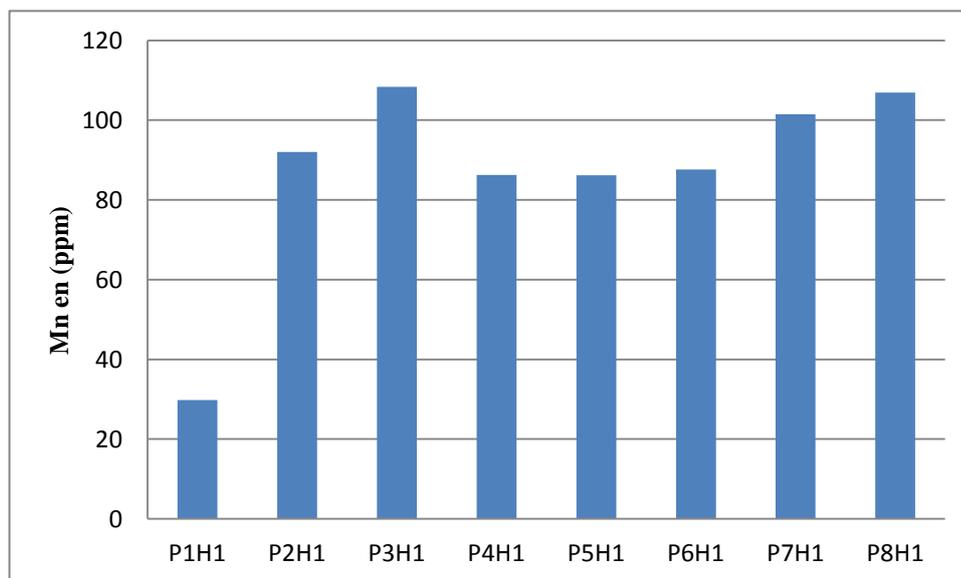


Figure30: Représentation de la concentration totale en manganèse des échantillons de sol

1.11.3. Fer

La concentration en fer des échantillons va de 4115.98 ppm pour l'échantillon P1H1 à 31124.84 ppm pour l'échantillon P3H1 qui présente la concentration en fer la plus élevée (figure 32). Suite à l'absence des normes relatives à la pollution par le fer, ce dernier n'a pas été comparé aux normes.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

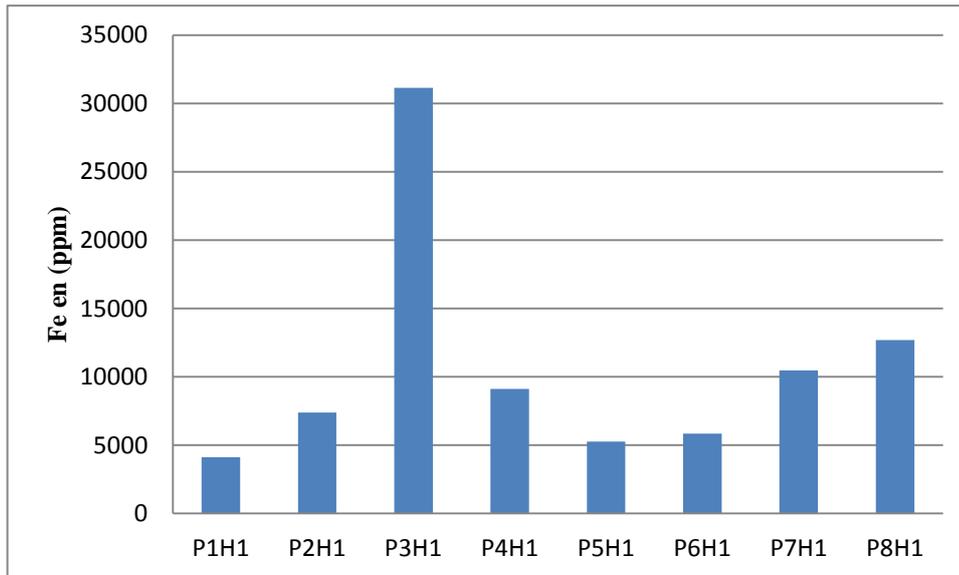


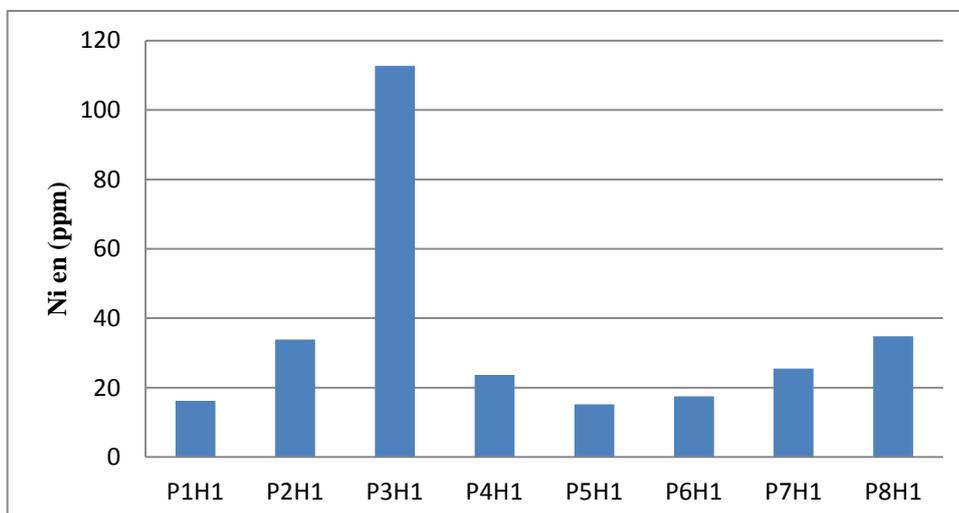
Figure 31: Représentation de la concentration totale en ferdes échantillons de sol

1.11.4. Nickel

Les concentrations en nickel oscillent entre 15.21ppm pour l'échantillon P5H1 et 112.73 ppm pour l'échantillon P3H1.

La concentration la plus importante en Nickel des échantillons étudiés est enregistrée avec l'échantillon P3H1 (figure 33).

Selon **AFNOR U 44-041 (1985)**, la norme de pollution par le nickel(Ni) dans le sol est fixée à 500 mg/kg. Les échantillons sont tous inférieurs aux normes. Cet élément est essentiel pour les plantes mais jusqu'à 100 mg/kg mais à partir de cette valeur il devient toxique.



Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure 32: Représentation de la concentration totale en nickel des échantillons de sol

1.11.5. Cuivre

La concentration en cuivre s'échelonne entre 1.64 ppm pour l'échantillon P1H1 et 14.86 ppm pour l'échantillon P3H1.

Le pique des concentrations est observé avec l'échantillon P3H1 (figure 34).

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

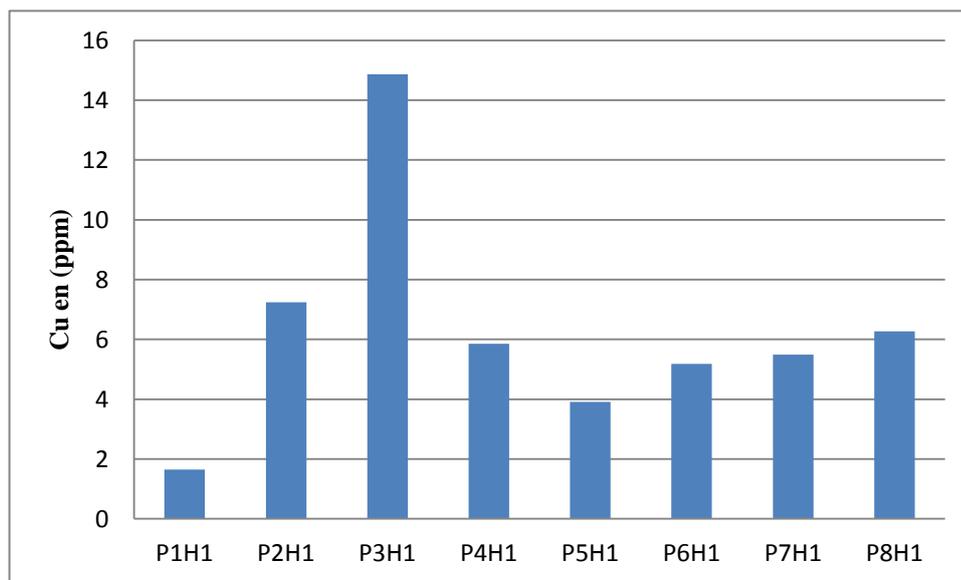


Figure33:Représentation de la concentration totale en cuivre des échantillons de sol

1.11.6. Zinc

D'après la figure 35, la concentration en zinc varie de 5.17 ppm pour l'échantillon P1H1 à 22.36 ppm pour l'échantillon P8H1.

Selon **AFNOR U 44-041(1985)**, La norme de pollution par le dezinc (Zn) dans le sol est estimée à 300mg/kg. Les échantillons de sol sont inferieurs aux normes, Cet élément est

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

essentiel pour la plante mais jusqu'à une valeur seuil de 400 mg/kg, à partir de cette valeur est toxique.

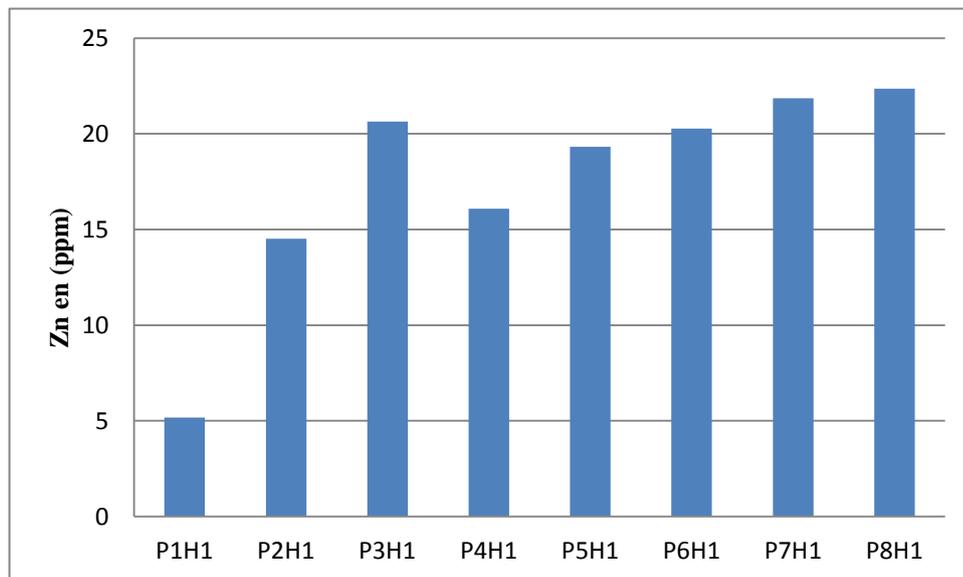


Figure34: Représentation de la concentration totale en zinc des échantillons de sol

1.11.7. Arsenic

La concentration en arsenic des huit échantillons correspondant aux horizons superficiels des huit profils étudiés se situe entre 0 ppm pour les échantillons P2H1 et P3H1 et 5.42 ppm pour l'échantillon P6H1 (figure 36).

Selon (ANRH in BEDDIAF, 2014), la norme de pollution par l'arsenic est de 100 mg/kg.

Tous les échantillons sont inférieurs à la norme de pollution.

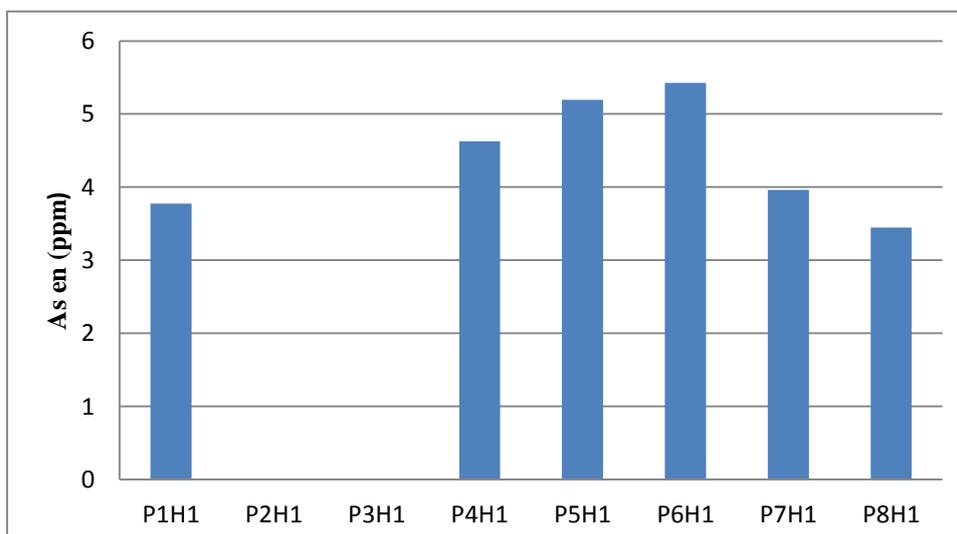


Figure 35: Représentation de la concentration totale en arsenic des échantillons de sol

1.11.8. Sélénium

La concentration en sélénium est nulle pour les échantillons P2H1, P3H1, P5H1, P6H1, P7H1, P8H1 la concentration la plus élevée a été enregistré avec le P3H1, qui présente une concentration de 0.17ppm (figure 37).

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 sebkha Bazer sont inférieurs aux normes.

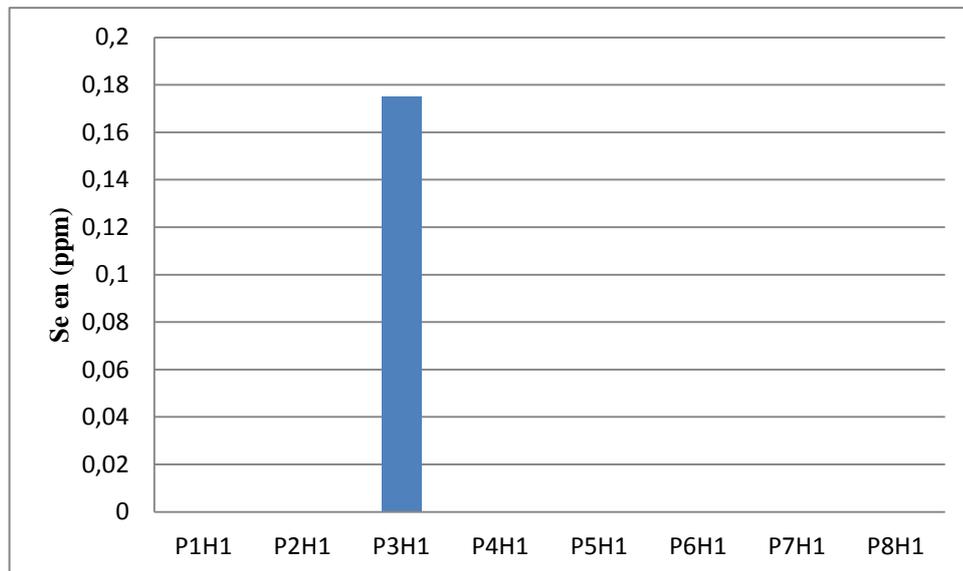


Figure 36: Représentation de la concentration totale en sélénium des échantillons de sol

1.11.9. Cadmium

La concentration en cadmium est nulle pour tous les échantillons à l'exception de l'échantillon P3H1, elle est 0.1249 ppm (Figure 38).

Selon **AFNOR U 44-041 (1985)**, la norme de cadmium (Cd) dans le sol est 2 mg/kg (2ppm), les échantillons de sol de sebkha Bazer sont en dessous du seuil limite autorisé pour un sol.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

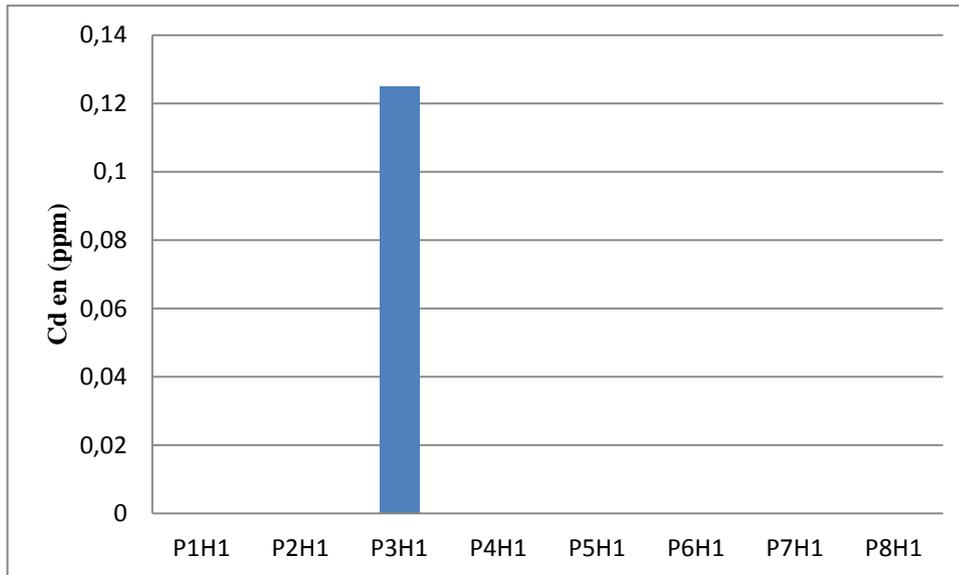


Figure 37: Représentation de la concentration totale en cadmium des échantillons de sol

1.11.10. Plomb

La concentration en plomb varie de 0 ppm pour les échantillons P1H1 à 3.45 ppm pour l'échantillon P2H1 (figure26).

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).

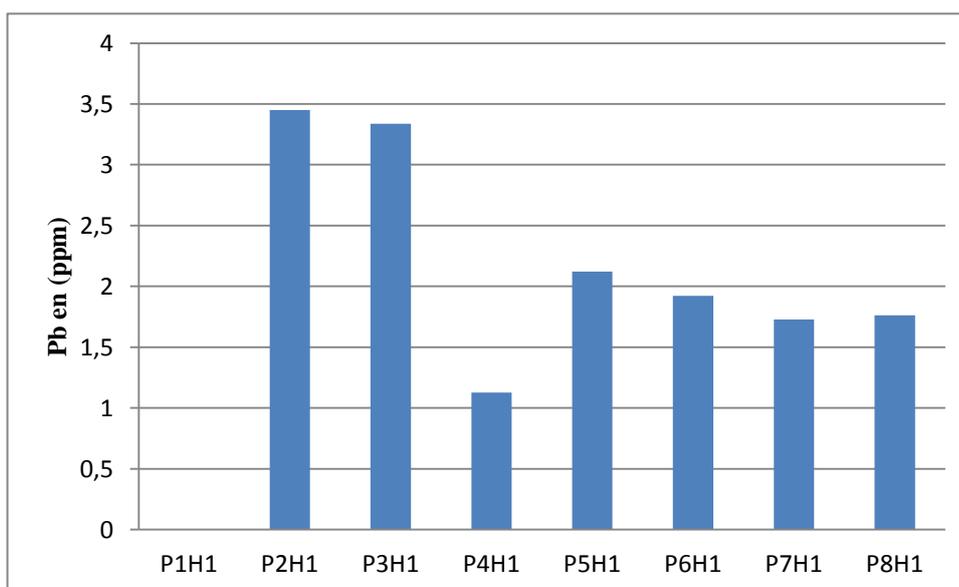


Figure 38: Représentation de la concentration totale en plomb des échantillons de sol

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

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

Les pics des concentrations en Ca, Se, Cu, Ni, Fe sont enregistrés pour l'échantillon P3H1.

Le pic des concentrations en Pb est enregistré pour l'échantillon P2H1.

Le pic des concentrations en Cr est enregistrés avec les échantillons P7H1 et P8H1.

Le pic des concentrations en Zn est enregistré avec l'échantillon P8H1.

Le pic des concentrations en As est enregistré avec l'échantillon P6H1.

Les concentrations les plus importantes des métaux lourds ont été observées toutes dans des horizons de surface (H1).

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

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

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 de sebkhat Bazer 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 du 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.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Les sols de la toposéquence étudiés sont dans leur majeure partie salins (USSL, 1954). 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 (BAISE,1988),les sols de sebkhat Bazer sont moyennement 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 qui ont été observés sur le terrain, avec la supposition de présence des horizons d'accumulation de gypse.(BOUMEZBEUR, 2004) a indiqué la présence d'importantes quantités du gypse dans les sols du sebkhat. 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 Ca^{++} et SO_4^- qui permettent la précipitation du gypse sous forte évaporation.

Les taux de matière organique des sols de la sebkhat Bazer sont relativement élevés en comparaison avec les valeurs moyennes dans la région, sachant que les sebkhat 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 des déversements des eaux usées de la région dans la sebkhat par le biais de Oued El Guitoune, Oued Djermane, Oued El Melah.

La concentration en chlorure dans la solution du sol traduit un état de salinité, plus la salinité augmente plus la concentration en chlorure augmente. La majorité des 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 NaCl,

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

KCl, CaCl₂...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), tous les échantillons ont dépassés les normes à l'exception du P3H1, P5H1, P6H1, P8H1, P8H2, P8H4.

Le SO₄⁻ est un anion qui est contrôlé dans la solution du sol par la précipitation ou la dissolution des minéraux sulfatés principalement le gypse (CaSO₄.2H₂O), sa concentration dans la solution du sol dépend fortement de ce minéral (**DROUBI, 1976**).

La présence de teneurs élevée en sulfates (SO₄⁻) en fonction de la profondeur indique la présence d'une croûte gypseuse (**MARLET et JOB, 2006**).

Le rapport Cl/SO₄ montre que le faciès géochimique dominant dans les sols de sebkhat Bazer est de type chloruré (**LOYER, 1991**).

Les analyses du sol indiquent que les sols de sebkhat Bazer 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 trois échantillons présentent des valeurs supérieures aux normes du danger de toxicité par les nitrates (**normes algériennes NA 63 60-1992**). Deux de ces échantillons se situent à la périphérie de la sebkha. 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.

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.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

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 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.

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

On peut remarquer des concentrations les plus importantes en orthophosphates ont été enregistrées dans les échantillons P1H1, P2H1, P4H1, P4H2, P5H1, P5H4, P6H1, P6H2, P7H1, P8H1. Ces 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 P2H1, P3H1, P4H2, P5H1, P5H2, P5H3, P5H4, P5H5, P6H2, P7H3, P7H4, P8H2, P8H4 sont supérieures à la limite du danger de toxicité pour les plantes fixée à 1.5mg/l (0.05 méq/l) par (USSSL, 1954).

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

Les pics des concentrations en Ca, Se, Cu, Ni, Fe sont enregistrés pour l'échantillon P3H1.

Le pic des concentrations en Pb est enregistré pour l'échantillon P2H1.

Le pic des concentrations en Cr est enregistré avec les échantillons P7H1 et P8H1.

Le pic des concentrations en Zn est enregistré avec l'échantillon P8H1.

Le pic des concentrations en As est enregistré avec l'échantillon P6H1.

Les concentrations les plus importantes des métaux lourds ont été observées toutes dans des horizons de surface (H1).

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Les analyses du dosage des métaux lourds (arsenic, cuivre, chrome, cadmium, 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 dû 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 a 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 générale

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 sebkhat Bazer.

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 fine (argileuse) pour la majorité des échantillons, 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 sebkha Bazer 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 croûte gypseuse, ou à la présence de taux excessive en matière organique.

Les sols de la toposéquence étudiés sont dans leurs majeures parties salines.

Les sols de sebkhat Bazer sont moyennement 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.

Conclusion générale

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 qui ont pu être observés sur le terrain avec la supposition de présence d'horizons d'accumulation de gypse.

Il s'avère que les taux de matière organique des sols de sebkha Bazer 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 provenus des déversements des eaux usées de la région dans la sebkhat par le biais de Oued El Guitoune, Oued Djermane, Oued El Melah.

La concentration des chlorure dans la solution du sol traduit un état de salinité, plus la salinité augmente plus la concentration en chlorure augmente. La plus part des 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, CaCl₂...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 (SO₄²⁻) en fonction de la profondeur indique la présence d'une croute gypseuse. Le SO₄²⁻ est contrôlé dans la solution du sol par la précipitation ou la dissolution des minéraux sulfatés principalement le gypse (CaSO₄.2H₂O), sa concentration dans la solution du sol dépend fortement de ce minéral.

Le rapport Cl/SO₄ montre que le faciès géochimique dominant dans les sols de sebkhat Bazer est de type chloruré.

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

Trois échantillons présentent des valeurs supérieures aux normes du danger de toxicité par les nitrates. Deux de ces échantillons se situent à la périphérie de la sebkhat. 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 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. Les teneurs élevées en nitrite peuvent

Conclusion générale

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.

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 P1H1, P2H1, P4H1, P4H2, P5H1, P5H4, P6H1, P6H2, P7H1, P8H1. Sept 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 P2H1, P3H1, P4H2, P5H1, P5H2, P5H3, P5H4, P5H5, P6H2, P7H3, P7H4, P8H2, P8H4 sont supérieures à la limite du danger de toxicité pour les plantes.

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

Les pics des concentrations en Ca, Se, Cu, Ni, et Fe sont enregistrés pour l'échantillon P3H1.

Le pic des concentrations en Pb est enregistré pour l'échantillon P2H1.

Le pic des concentrations en Cr est enregistré avec les échantillons P7H1 et P8H1.

Le pic des concentrations en Zn est enregistré avec l'échantillon P8H1.

Le pic des concentrations en As est enregistré avec l'échantillon P6H1.

Les concentrations les plus importantes des métaux lourds ont été observées toutes dans des horizons de surface (H1).

Les analyses du dosage des métaux lourds (arsenic, cuivre, chrome, cadmium, 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.

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).

Conclusion générale

- 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 sebkha 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

ANONYME. 2007. Les zones humides : valeurs et fonctions. Document interne, Ramsar, Suisse.

ANONYME., 1974. Projet d'études devant permettre la définition de programmes de développement sur la zone de rénovation rurale des hautes plaines sétifiennes. O.T.I., ressources naturelles pédologie. 219p. Carte de classification pédologique au 1/50 000.

ANONYME., 1977. Note explicative de la carte géologique. Au 1/200 000 Sétif.

BAAZIZ N., BOUALEM M ., SAHEB M ., BENSACI E., BAAZIZ N., 2012. Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT, Option: Ecosystèmes aquatiques La faune, Statut et écologie de l'avifaune aquatique de la Sebkhha de Bazer-Sakra (El-Eulma, Sétif): Phénologie et distribution spatio-temporelle. P 14-15

BARBIER E B., ACREMAN M.C., & KNOWLER D., 1997. Economic Valuation of wetlands: a guide for policymakers and planners. Ramsar convention bureau, Gland, switzerland.

BARKAT et al., 2004. ATLAS [IV] des zones humides Algériennes d'importance internationale ; Direction Générale des Forêts. p 94.

BARNAUD G., & FUSTEC E., 2007. Conserver les zones humides: pourquoi ? Comment ? Editions Quae 296p.

BECHTE., 1975. Développement des ressources en eau et de l'Agriculture. Région de Sétif. Etude préliminaire et conditions de réalisation – volume II.

BENZECRI JP, 1973. L'ANALYSE DES DONNEES. TOME II, L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES. DUNOD, PARIS.

BERTHELIN j ., PAUL-HENRI BOURRELIER. Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Académie des sciences. Rappel n°42. Technique et documentation, 1998

BORCHARDT T., 1985. Relation shipbetween carbon and cadmium uptake in Mytilusedulis. Mar. Biol 85: 233-244.

BOUMEZBEUR A., 2004. Atlas des zones humides algériennes. DGF. 120p

BROWN B.F., 1971. Les matériaux et la corrosion en milieu marin Matériaux et Techniques, janvier, p.22-27 .1971, février, p39-42.

CARPENTER S. R., CARACO N., CORRELL D. L., HOWARTH R.W., SHARPLEY A. N., SMITH V.H., 1998 ., CHERNET T., TRAVI Y., VALLES V., 2001. Mechanism of dégradation of

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

the quality of nature water in the lakeregion of the rthiopian rift vally.waterreseach, 35 (12), 2819-2832.

CHAPMAN G. Toxicological considerations of heavymetals in the aquaticenvironment, In toxicmaterials in the aquaticenvironment. Orgon State University, WRI, Corvalis, OR, 1978 Gestion des ressources hydriques Manitoba et Santé Manitoba.2011. La présence de nitrate dans les sources d'approvisionnement en eau au Manitoba. Page1.

CIZEL O., GHZH., 2010. Protection et gestion des espaces humides et aquatiques. Guide juridique, Pôle-relais Lagunes, Agence de l'eau RM & C. 204.

Commissariat général au développement durable. 2013. Les teneurs en nitrates augmentent

Commission eurpéenne d'agriculture et développement rural. 2009. L'agriculture durable et la conservation des sols. Processus de dégradation des sols.n°4. Page 1.

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 & VAN DEN BELT M., 1997. The value of the world'secosystem services and natural capital. Nature 387, 253-260.

cours de physique du sol I. édition OROSTPM paris, 159 p

COWARDIN L M, CARTER V, GOLET F C & LAROE E T. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. US Fish and Wildlife service.

DAJOZ R., 2006. Précis d'écologie. 8e Edition, Ed, Dunod, Paris, 631p dans les nappes phréatiques jusqu'en 2004 puis se stabilisent mais de fortes disparités régionales existent. n°161. Page 1.

DGF ., 2004. Atlas IV des zones humides algériennes d'importance international.

DGF., 2011. Direction générale des forêts, Une stratégie nationale de gestion durable des zones humides est en cours d'élaboration. .

DIETRICH M. Les métaux lourds et leurs effets sur la santé, conférence, l'école polytechnique de Zurich, 14 mai 1998.

DROUBI A. géochimie des sels et de la solution concentrée par évaporation. Modèle thermodynamique de qualité application aux sols sale du Tchad. Mémoire des sciences géologique : 46,177p

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DUBOST D., 2002. Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Biskra: C.R.S.T.R.A. édition European region. World Health Organization (WHO), Rapport WHO European Centre for Environment and Health, Stuttgart. Page 537.

FUSTEC E & LEFEUVRE J.C., 2000. Fonctions et valeurs des zones humides. Ed. Dunod. Paris. 426p.

GOUGA H., 2014. Magister en biologie animale option: conservation de la biodiversité faunistique, Biodiversité faunistique à Sebket Bazer (Sud de Sétif) Connaissance et conservation, p22.

GROOT R.S., STUIP M A M., FINLAYSON C. M., & DAVIDSON N., 2006. Valuing wetlands: guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services. Ramsar Technical Report No. 3/ CBD Technical Series No. 27. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland and Secretariat of the convention on biological diversity, Montreal, Canada.

HUBERT P. *Eaupiscule* une introduction à la gestion de l'eau, Edition

HURLBUT JR. C. S., ET KLEIN C., 1982. Manual de Mineralogía de Dana. Editorial Reverté, Barcelona, 564 pp.

ISABELLE B., 2006. Centre de référence en agroculture et agroalimentaire du Québec. Revue de littérature version finale. La mobilité de phosphore. Page 4.

JUSTE C. les micropolluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration (1995) ; ADEM ; Angers.

KOZLOWSKI R., GRABOWSKA L. Métaux lourds dans l'environnement, menaces et possibilités de riposte, [www. Chanvre-info.ch](http://www.Chanvre-info.ch), le 08/10/2003.

L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Sénat). 195 pp.

LACOSTE M., & SALANON R., 1986. Eléments de biogéographie et d'écologie. Ed. Fernand Nathan, Paris, 189p.

LAYER J.Y., 1991. Classification des sols le sol salin. Vol XXVI. N°=01. 51. 61 pp.

LEVALLOIS P., PHANEUF D., 1994. La contamination de l'eau potable par les nitrates : analyse des risques à la santé, Revue canadienne de santé publique. 85(3). 192-196.

Mahan, B.H., 1987. Química. Curso Universitario. Fondo Educativo Interamericano S. A.

MARKEETING, Juin 1984.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MARLY Xavier, e-formation « sols pollués », soutenu par le ministère de l'Industrie dans le cadre du programme d'utilisation collective d'Internet par les PME-PMI (UCIP), France. <http://www.gessta.net> (13 mars 2007).

MEYBECK M., 1982., Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. Amer. J. Sci., 282, 401-450.

MEYBECK M., 1989.The quality of rivers, from pristine stage to global pollution.Palaeogeogr.Palaeocl. 75, 283-309.

Miquel G., 2003. La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Rapport No. 215 tome1

NESTEL L., DAVIDSSON P. Anémie carence en fer et anémie ferriprive. Etat Unis d'Amérique, 2003 l'eau. 8ème édition, Dunod, Paris, 1383 pp.

Nonpoint pollution of surface waters withphosphorus and nitrogen. Ecol. Applic. 8, 559-568.

Oldham r. S., latham d. M., hilton-brown d., towns m., cooke a. S., burn a., 1997. The effect of ammonium nitrate fertiliser on frog (*Ranatemporaria*) survival.Ag. Ecosystem Environ 61. Page 69-74.

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR ., 2004.Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable. n°. Page 3-4.

ORGANISATION MONDIAL DE LA SANTE (OMS),, 2013. Aspects environnementaux. L'utilisation des eaux usées en agriculture. Volume II. Page 123.

OUNISSI M., METALLAOUI S., & HOUHAMDI M., 2011. Statut phénologique et reproduction des peuplements d'oiseaux d'eau dans l'éco-complexe de zones humides de Sétif (Hauts plateaux, Est de l'Algérie), n°33, P 78.

OUNNAS B., 2012.Méthodes et techniques de gestion des zones humides cas de Sebkhethbazer (région de Sétif) ; Univ : Ferhat Abbas – Sétif ; l'obtention du diplôme de Master ; Filière : Ecologie ; Option : Gestion des systèmes écologiques protégés.55p.

OZENDA P., 1983. Flore du Sahara 2ème Ed. CNRS. Paris, 627p.

PERENNOU C., SADOUL N., PINEAU O., JOHNSON A. & HAFINER H. 1996. Management ofnest sites for colonial waterbirds. Conservation of Méditerranéen Wetlands, vol. 4, MedWet'Station Biologique Tour du Valat, Arles. France, 114p.

RAMADE F., 2009. Elément d'écologie : écologie fondamentale .4 ème Edition. Dunod, Paris, 698p

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RAMSAR., 2007. Designation of Ramsar sites: The Strategic Framework and guidelines for the future development of the List of Wetlands of International Importance. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 3rd edition, vol. 14. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland, 110p.

RAMSAR., 2007b. Designation of Ramsar sites: The Strategic Framework and guidelines for the future development of the List of Wetlands of International Importance. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 3rd edition, vol. 14. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland, 110p.

RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J. C., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., RODI L., 1996, L'analyse de S. P. SINGH, L.Q.MA, W.G. HARRIS (2001) Heavy metal interactions with clay Sorption and desorption behavior. J. Environ. Qual. 30 : 1961-1968.

SANTE CANADA., 1992. Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada.

SITTIG M., 19. Toxic metals: pollution control and worker protection » Noyes Data corporation, 350 pages.

WEDEPOHL, H.K., 1995. The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59(7): 1217-1232.

WHO ., 1995. Concern for Europe's tomorrow. Health and the environment in the WHO.

ZABAT N. Etude de l'adsorption de composés organiques aromatiques sur des aluminosilicates naturels traités. Thèse de Magister. Université d'Annaba, 2000.

ANNEXE

La description des profils

Profil 01 : La présence de végétation halophyte, ce profil contient deux horizons.

Horizon 01 : de 0 à 65 cm, de couleur **10 YR 6/3**.

Une structure particulière, Caractérisé par la présence d'une effervescence de forte intensité qui est généralisée, humide, avec des propriétés mécaniques plastique, non collant, pas de fermeté, meuble, des traces d'activité biologique sont très nombreuses avec des coquilles, des racines saines et d'autres nécrosées localisées dans les agrégats de taille différente et des galeries de vers très nombreuse orientés verticalement. L'horizon est peu poreux. Les éléments grossiers constitués de pierres et cailloux sous graviers. La présence des taches d'oxydoréduction assez nombreuses localisées sur les faces des agrégats de taille moyenne sous forme arrondi, peu contrastées.



L'épaisseur de la limite entre les deux horizons est de 15cm cette phase de transition est régulière.

Horizon 02 : Supérieure à 65 cm, de couleur **7,5 YR 7/6**. La structure est continue (ou massive). Caractérisé par une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, très humide avec des propriétés mécaniques très plastique, très collant, extrêmement ferme et peu compact, des traces d'activité biologique absente.

La présence des taches d'oxydoréduction peu nombreuses localiser dans les matrices de taille fins a une forme irrégulière et très contrastées et de très nombreux cristaux de taille très grosse et de graviers.

ANNEXE

Profil 02 : la présence de végétation halophyte, ce profil est constitué de deux horizons.

Horizon 01 : de 0 à 72 cm, de couleur **10 YR 6/4**. La structure est particulière. Caractérisé par une effervescence d'intensité forte qui est généralisée. Avec des propriétés mécaniques plastique, peu collant, pas de fermeté, non compacte et meuble. Les traces d'activité biologiques sont peu nombreuses sous forme des coquilles, Les racines avec des galeries de vers nombreuses localisées dans les agrégats, des conduit de vers peu nombreux et orientés verticalement. L'horizon est faible porosité.

Les éléments grossiers sous forme des pièces et cailloux de taille variée, les taches d'oxydoréduction à assez nombre locale sur les faces des agrégats sous forme arrondis, peu contrastées.

La phase de transition entre les deux horizons réguliers à une épaisseur de 20 cm.



Horizon 02 : supérieure à 72 cm, de couleur **10 YR 7/6**. Une structure continue (ou massive) très humide. Caractérisé par une effervescence d'intensité forte qui est généralisée, des propriétés mécaniques très plastique, très collant, extrêmement ferme peu compact. Des traces d'activité biologique absente, la présence de nombreux cristaux de taille moyenne, les taches oxydoréduction trouvés dans la matrices de taille fines à une forme irrégulière, et très contrastées.

ANNEXE

Profil 03 : la présence de végétation halophyte, Ce profil comprend trois horizons.

Horizon 01 : de 0 à 48cm, de couleur **10 YR 5/3**. Caractérisé par une effervescence d'intensité forte qui est généralisée. La matière organique moyenne. La structure est polyédrique subanguleuse L'horizon est moyenne poreux, possède des propriétés mécaniques fragile pas de dureté, meuble. Les traces d'activité biologique sont très nombreuses (des coquilles, des turricules et nombreux racines très fines).dans la masse et dans les fissures orienté verticalement et les conduits de vers peu des pores très fines. Les éléments grossiers représentent 30 %. La phase de transition entre horizon 01 et horizon 02 est irrégulière (ou glossique).



Horizon 02 : de 48 à 125 cm, de couleur **10 YR 6/4**. Caractérisé par une effervescence de forte d'intensité qui est généralisée. La matière organique est moyennement. Avec des propriétés mécaniques sec, non fragile, dur et peu compact. La structure est polyédrique anguleuse. Les traces d'activité biologique sous forme des coquilles, racines décomposées Les racines de dimension très fine et peu nombre des pores très fines. L'horizon peut poreux. , les éléments grossiers sont très peut nombreuses, des cristaux assez nombreuses, des nodules fines de nature carbonatés dures a un forme arrondis.

Horizon 03 : supérieure à 125 cm, de couleur **10 YR 7/6**. Caractérisés par une effervescence extrêmement forte intensité qui est généralisée. Les propriétés mécaniques non fragiles, dures et compactes. Sa structure est polyédrique subanguleuse sec, Matière organique faible, avec la présence des taches d'oxydation nombreuses et grosses trouver dans la matrices et sur les faces des agrégats, de taille grosses une forme irrégulière et contrastées. Les traces d'activité biologique sont peu nombreuses se forme des coquille, très peu nombre des racines localises dans les fissures verticalement sont très fines. Les pores de l'agrégat non visible une porosité non identifier.

ANNEXE

Profil 04 : la présence de végétation mauvaise herbe, ce profil comprend deux horizons.

Horizon 01 : de 0 à 88cm, de couleur **2,5 YR 6/3**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisé. La matière organique est faible. La structure est polyédrique anguleuse, avec des propriétés mécaniques frais et peu faible et compact. Les traces d'activité biologique sont peu nombreuses sous forme des racines dans la masse oriente verticalement de très fines. La présences d'un peut nombre de pore fines. L'horizon peu poreux.

Les taches d'oxydoréduction grande nombreuse trouvent dans la matrice et sur les faces des agrégats de taille grosses à une forme irrégulière. Les éléments grossies a une forme arrondis de taille graviers.



Horizon 02 : supérieure à 88cm, de couleur **2,5 Y6/4**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique faible. La structure est polyédrique anguleuse. Possède des propriétés mécaniques frais et peu faible et compact. Caractérisé aussi par la présence des taches d'oxydation très nombreuses trouvent dans la matrice et sur les faces des agrégats de taille grosses à une forme irrégulière. Les traces d'activités peu nombreuses sous forme des racines dans la masse orientée verticalement de très fines. La présence d'un peut nombre de pore fines. L'horizon peu poreux. Les éléments grossies a une forme arrondis de taille graviers.

ANNEXE

Profil 05 : la présence de végétation mauvaise herbe, ce profil subdivise en 5 horizons.

Horizon 01 : de 0 à 35 cm, de couleur **2.5 Y7/3**. La structure est polyédrique anguleuse. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. Possède des propriétés mécaniques frais, friables, meuble. La matière organique est traces d'activités biologique nombreuses sous forme des coquilles, un peu nombreuses des racines localiser dans la masse et dans les agrégats orientés verticalement sont très fines et aussi peu nombreuses, les conduits de vers orientés verticalement, la présence d'un assez nombre d'agrégats moyenne.

L'horizon moyennement poreux, les éléments grossiers de taille graviers sous diverses formes, les phases de transition est régulière entre les horizons.

Horizon 02 : de 35 à 116 cm, de couleur **2,5 Y6/4**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est faible quantité. L'horizon possède des propriétés mécaniques frais, peut friable et compact. La structure est lamellaire. Les traces d'activité biologique sont peut nombreuses sous forme des coquilles. Les racines sont très peu nombreuses localisées dans les agrégats et orientées verticalement. La présence d'un assez un peut nombre d'agrégats très fines, l'horizon peu poreux.

Horizon 03 : de 116 à 128 cm, de couleur **2,5 Y5/4**. . Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est absente. Des propriétés mécaniques frais, peu friable et compact. Sa structure est polyédrique anguleuse. Les traces d'activité biologique sont très peu nombreuses. Les racines sont très peu nombreuses, orientées verticalement. Les conduits de vers et les pores sont très peu nombreuses. La présence d'un peu nombre d'agrégats très fines et des cristaux extrêmement fines non identifié. L'horizon peu poreux. La présence du pseudo mycélium de CaCO_3 . Les taches d'oxydoréduction localisée dans la matrice et sur les faces des agrégats très grosses, une forme irrégulière et contrastées.



ANNEXE

Horizon 04 : de 128 à 143 cm, de couleur **10 YR 6/3**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est absente. Des propriétés mécaniques frais, très friable et peut compact. Sa structure est polyédrique anguleuse. L'absence des taches d'oxydations. Les traces d'activités, les racines, les conduits de vers et les pores absents.

Horizon 05 : supérieure à 143 cm, de couleur **2,5 Y6/4**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est absente. Des propriétés mécaniques frais, non friable et compact. Sa structure est polyédrique anguleuse. L'absence des traces d'activités, les racines, les conduits de vers, les pores et l'élément grossier. La présence des pseudos mycélium de CaOC_3 . Les taches d'oxydoréduction sont nombreuses localiser dans les matrices et sur les faces des agrégats, une forme irrégulière et contrastées.

Profil 06 : la présence de végétation mauvaise herbe, ce profil subdivise en 2 horizons.

Horizon 01 : de à 68 cm, de couleur **2,5 Y7/3**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est moyenne. Possède des propriétés mécaniques frais, friables et peu compact. Sa structure est polyédrique anguleuse. Les traces d'activités biologiques sont peu nombreuses. Les racines peu nombreuses localiser dans la masse et dans les agrégats orienter verticalement. Les conduits de vers orienter verticalement et horizontale, un grand nombre des pores fines et moyenne. Les taches d'oxydations trouvées dans les matrices de tailles très fines à une forme arrondies peu contrastées. L'horizon très poreux. Les éléments grossier sous divers forme de tailles graviers. La phase de transition régulière entre deux horizons.



ANNEXE

Horizon 02: supérieure à 68 cm, de couleur **10 YR 5/4**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est absente. Des propriétés mécaniques frais, peu friable et peu compact non salée. Sa structure est polyédrique anguleuse. L'absence de les traces d'activité biologique les racines et le conduit de vers absents. Les éléments grossier est peu nombreuses. De cristaux de taille fines. La présence d'amafiants. Les taches d'oxydation très nombreuses trouvée dans les matrices et sur les faces des agrégats de tailles très grosses, une forme irrégulière et très contrastées.

Profil 07 : la présence de végétation mauvaise herbe, ce profil subdivise en 4 horizons.

Horizon 01 : de 0 à 25 cm, de couleur **2.5 Y 7/3**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est moyenne. Des propriétés mécaniques friable, meuble, peu compact. La structure est polyédrique subanguleuse. Les traces d'activités biologiques sont peu nombreuses (coquilles, racines décomposées, galeries de rongeurs). Les racines sont peu nombreuses, orientées verticalement saines et parfois nécrosées. Les conduits de vers peu nombreuse orienté verticalement. L'horizon est moyennement poreux. La présence des pseudos mycélium de CaOC_3 .



Horizon 02 : de 25 à 69 cm, de couleur **2.5 Y 7/4**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est faible. des propriétés mécaniques peu friable, compact, l'humidité frais. Sa structure est polyédrique subanguleuse, avec des traces d'activité biologique peu nombreuses (coquilles, racines décomposées, galeries de rongeurs). Les

ANNEXE

racines très peu nombreuses orientées verticales. Les taches d'oxydoréduction sont très nombreuses très grosses localisées dans la matrice et sur les faces des agrégats et sont contrastées. L'horizon est peu poreux, la présence de pseudomycélium de CaCO_3 .

Horizon 03 : de 69 à 137 cm, de couleur **5 Y 7/3**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est faible. Des propriétés mécaniques compactes, l'humidité fraîche. Sa structure est polyédrique anguleuse. Les taches d'oxydoréduction sont très nombreuses très grosses localisées dans la matrice et sur les faces des agrégats et sont contrastées. La présence de pseudomycélium de CaCO_3 et l'amafiate.

Horizon 04 : supérieure à 137 cm, de couleur **10 YR 5/4**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est faible. Des propriétés mécaniques peu compactes, l'humidité fraîche. Sa structure est polyédrique subanguleuse. Les taches d'oxydoréduction sont très nombreuses très grosses localisées dans la matrice et sur les faces des agrégats et sont contrastées. L'horizon est moyennement poreux. La présence de pseudomycélium de CaCO_3 .

ANNEXE

Profil 08 : la présence de végétation mauvaise herbe, ce profil subdivise en 4 horizons.

Horizon 01 : de 0 à 23 cm, de couleur **2.5 Y 7/3**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est moyenne. Des propriétés mécaniques très friable, meuble, l'humidité frais. La structure est polyédrique subanguleuse. Les traces d'activités biologiques sont peu nombreuses (coquilles, racines décomposées, galeries de rongeurs). Les racines sont peu nombreuses, orientées verticalement saines et parfois nécrosées. Les conduits de vers peu nombreuse orienté verticalement. Les pores d'agrégats assez nombreux fines. L'horizon est moyennement poreux. La présence de phase de transition régulière entre l'horizon 01 et l'horizon 02



Horizon 02 : de 23 à 52 cm, de couleur **2.5 Y 6/3**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique est faible. Des propriétés mécaniques friables, compact, l'humidité frais. La structure est lamellaire. Les traces d'activités biologiques sont peu nombreuses (coquilles, racines décomposées, galeries de rongeurs). Des conduits de vers peu nombreuses. Les pores d'agrégats peu poreux. Les conduits de vers peu nombreux orienté verticalement. Les tache d'oxydoréduction sont peu nombreuses, moyenne, peu nette localiser dans la matrice et sur les faces des agrégats. La présence de phase de transition régulière entre l'horizon 01 et l'horizon 02.

Horizon 03 : de 52 à 171 cm, de couleur **2.5 Y 7/4**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. Des propriétés mécaniques friables, peu compact, l'humidité frais. La structure est polyédrique anguleuse. Les traces d'activités biologiques sont peu nombreuses. Les pores d'agrégats nombreux poreux. Les tache d'oxydoréduction sont très nombreuses et nettes, localiser dans la matrice et sur les faces des agrégats. L'horizon peu poreux, la présence des amafriables de CaCO_3 .

ANNEXE

Horizon 04 : supérieure à 171 cm, de couleur **10 YR 6/4**. Caractérisé par une effervescence d'intensité extrêmement forte qui est généralisée. La matière organique absente. Des propriétés mécaniques très friable, meuble, l'humidité frais. La structure est polyédrique subanguleuse. Les traces d'activités biologiques sont peu nombreuses. L'absence des taches d'oxydoréductions, les racines, les conduits de vers, les traces d'activités biologique.

Résumé

Sebkhath Bazer 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 sebkhath Bazer.

La méthodologie adoptée dans ce travail est basée sur la réalisation d'un échantillonnage de sol sur le terrain par l'étude de huit profils pédologiques qui 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 par extraction à l'eau régale et dosage par ICP-MS.

Les résultats obtenus ont été complétés par une analyse statistique, ACP et l'AFC.

Cette étude a permis de caractériser les sols de sebkhath Bazer par l'analyse du pH, CE, Calcaire, gypse, MO, humidité à saturation. Elle a montré que les sols de sebkhath Bazer 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, sebkhath Bazer, salinité, pollution des sols, métaux lourds, anions solubles.

المخلص

سبخة بازر هي جزء من الأراضي الرطبة بمرتفعات الهضاب العليا شرق الجزائر بولاية سطيف و المصنفة ضمن قائمة رامسار، ويشكل هذا العمل جزءا من دراسة حالة التلوث بالملوثات الشاردية (الكور والنترات والنتريت والفسفات... الخ)، والمعادن الثقيلة (الكاديوم والنحاس والكروم والحديد والمنغنيز والنيكل، والرصاص، والسيلينيوم، والزنك) للتربة المالحة لسبخة بازر.

وتستند المنهجية المتبعة في هذا العمل على أخذ عينات من التربة في عين المكان من خلال دراسة ثمانية خصائص للتربة التي أخذت عينات منها وصفها وتم وصفها وفقا لبروتوكول يتكيف وفقا لدراسة التربة الملوثة.

تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لوصف التربة والتي يمكن أن تؤثر في تلوث التربة.

تحليل الشوارد الذائبة في محلول التربة، مما قد يؤدي في تركيزات عالية إلى مشاكل التلوث.

تحليل تركيزات من مجموع المعادن الثقيلة بواسطة ICP-MS.

وقد استكملت النتائج بالتحليل الإحصائي، ACP . AFC

سمحت هذه الدراسة بتحديد خصائص تربة سبخة بازر من خلال تحليل درجة الحموضة، و الكلس، الجبس، المواد العضوية، تشبع الرطوبة. وبينت ان هذه التربة ملوثة بالكور والنترات والنتريت، و الفوسفات وبورات. ولا يوجد تلوث للتربة في المنطقة بالمعادن الثقيلة.

الكلمات المفتاحية مناطق رطبة، بازر ضخرة، مالحة، تلوث التربة، معادن ثقيلة، شوارد منحلة