

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE JIJEL

جامعة جيجل

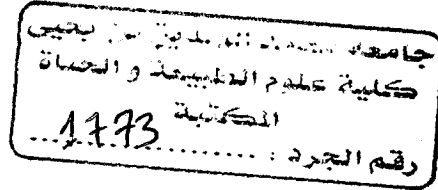
Faculté des Sciences Exactes et
Sciences de la Nature et de La vie



كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا الحيوانية و النباتية

Département de Biologie animale et
végétale



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master

Option : Toxicologie de l'environnement

Thème

***Evaluation de la pollution des sols par les métaux
lourds dans le marais de Redjla, Taher-Jijel***

Jury :

- **Président : Mlle. Chabeb S.**
- **Examinatrice : Mlle. Balli N.**
- **Encadreur : Mr. Mayache B.**

présenté par :

Derbal Ali

Sayoud Billal



Numéro d'ordre :

Session : Juillet 2011

La liste des tableaux

Tableau 01: contenu des roches en éléments traces (en mg/kg)	11
Tableau 02 : applications industrielles et agricoles de certains éléments traces métalliques	13
Tableau 03: Check-list l'avifaune aquatique du marais de Merdj-El Ghedir, Redjla, Jijel.	30
Tableau 04: Check-list des espèces végétales du marais de Merdj-El Ghedir, Redjla, Jijel.....	31
Tableau 05: variation mensuelle de la température	32
Tableau 06: moyennes mensuelles des précipitations en mm (1989-2009)	32
Tableau 07: Les gammes d'étalons et la longueur d'onde utilisées pour le dosage des métaux lourds.	42
Tableau 08 : les valeurs des fractions granulométriques	44
Tableau 09 : les valeurs de pH.....	45
Tableau 10 : les valeurs du calcaire total	46
Tableau 11 : Classification des sols en fonction de taux du calcaire total	46
Tableau12 : les valeurs de la matière organique.	47
Tableau 13: Normes d'interprétation de la matière organique d'après	48
Tableau 14 : les valeurs de la capacité d'échange cationique.....	49
Tableau 15: Classification des sols en fonction de C. E. C.....	49
Tableau 16 : les valeurs de conductivité électrique.	50
Tableau 17: échelle de salure européenne.....	51
Tableau 18: les valeurs du cadmium.	52
Tableau 19: les valeurs du chrome.	53
Tableau 20 : les valeurs du cuivre.	54
Tableau 21 : les valeurs du manganèse.	55
Tableau 22 : les valeurs du plomb.....	56

Tableau 23 : les valeurs du Zinc.57

La liste des figures

Fig.01 : Photo Satellite de la zone d'étude.	26
Fig. 02 : Position géographique du marais de Redjla (1/ 25.000)	27
Fig. 03 : Diagramme ombro-thermique de Bagnole et Gaussen pour la région de Jijel.....	33
Fig.04 : Photo Satellite du Territoire d'étude en 2011.	34
Fig.05 : Les variations de pH.	45
Fig.06 : Les variations du calcaire total.	46
Fig.07 : Les variations de la matière organique	47
Fig.08 : Les variations de la capacité d'échange cationique.....	49
Fig.09 : Les variations de la conductivité électrique.	50
Fig.10 : La teneur en cadmium total.	52
Fig.11 : La teneur en chrome total.	53
Fig.12 : la teneur en cuivre total.	54
Fig.13 : la teneur en manganèse total.	55
Fig.14 : la teneur total en plomb.	56
Fig.15 : la teneur total en Zinc	57

La liste des abréviations

Cd : cadmium.

CEC : capacité d'échange cationique.

Co: cobalt.

Conc. : concentration.

Cr : chrome.

CT : calcaire total.

Cu: cuivre.

DIS : déchets industriels spéciaux

Et : élément traces.

ETM : élément trace métallique.

Fe: fer.

Fig : figure.

Hg : mercure.

Mm : millimètre.

Mn: manganèse.

MO: matière organique.

Ni : nikel

Pb : plomb.

SAA : la spectrométrie d'absorption atomique.

St : station.

V : vanadium.

Zn : zinc.

MR

tion

Introduction

La pollution des sols a pris au cours des dernières décennies des dimensions de plus en plus préoccupante tant par la multiplicité de ses causes que par l'ampleur croissante des surfaces affectées au point de devenir un problème majeur d'environnement (Ramade, 2005), les enjeux environnementaux et sanitaires, liés à la pollution du milieu terrestre est au cœur de nombreux débats de société. La prise de conscience de la nécessité de réduire la pollution toxique est de plus en plus importante.

Les activités humaines, qu'elles soient industrielles, agricoles ou domestiques, ont utilisées ou générées, depuis le début du développement industriel, des quantités croissantes de substances ou de déchets qui présentent des risques pour la santé de l'homme, et qui peuvent dégrader son environnement.

Dès lors que l'on aborde la problématique des métaux lourds, il faut avoir présent à l'esprit que ces éléments se retrouvent dans notre environnement quotidien, les éléments traces métalliques n'offre pas la possibilité de disparition. Toute quantité d'ETM a porté à la surface d'un sol ne peut que s'y accumuler et/ou suivant la mobilité de l'élément d'être transférée vers d'autres compartiments de l'environnement : atmosphère, horizons profonds, eaux souterrains ou superficiels, plantes... a terme, il pourrait exister un risque d'accumulation ou de contamination du milieu terrestre, qu'il est important d'étudié et de minimiser (Baise, 1998).

Un sol pollué est un site présentant un risque ou des nuisances pérennes pour la santé de l'homme, les ressources biologiques, et les écosystèmes présents sur ce site.

Les dépôts de substances polluantes, les pratiques sommaires d'élimination des déchets, les infiltrations, l'utilisation de pesticides, d'engrais chimiques pour la culture du sol, l'épandage de produits chimiques, les retombées dues à des rejets atmosphériques sont à l'origine de ces pollutions.

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une évaluation de la contamination du sol du marais de Redjla par les métaux lourds. Nos investigations ont portés sur les principaux d'entre eux : cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), plomb (Pb), manganèse (Mn) et le zinc (Zn).

Notre travail est structuré de la manière suivante:

- ❖ Une première partie est consacrée à une synthèse bibliographique, constituée de trois chapitres. Le premier chapitre aborde une synthèse sur le sol, le deuxième est consacré aux pollutions des sols; définition, dégradation des sols, causes anthropiques de la

pollution des sols...) et en fin un troisième chapitre qui sera consacré à une étude plus ou moins détaillée sur les métaux lourds.

- ❖ La deuxième partie est la partie pratique, constituée de deux chapitres, ou le premier traite le matériel et les méthodes d'échantillonnage et d'analyse utilisée, le deuxième est consacré aux résultats et discussion.

Le travail sera clôturé par une conclusion générale.

Synthese
Bibliographie
embryonale

I.1 Définition du sol

La partie supérieure de la lithosphère correspond au grec *pedon*, sol. Elle comprend la couche extérieure, souvent meuble, de la surface de la terre, y inclus les matières premières qu'elle contient et la nappe phréatique ; son épaisseur est de quelques décimètre à quelques mètres, c'est la partie de la terre dans laquelle se joue la vie du sol ; le sol est le matériau de la surface terrestre situé entre l'air d'un côté et la roche en sous-sol de l'autre côté. Les parties de la lithosphère plus profonde, de l'hydrosphère et de l'atmosphère qui y pénètrent, appartiennent aussi aux sols. (Bliefert et Perraud, 2003), il est un véritable écotone où se rejoignent et s'interpénètrent les trois compartiments de la biosphère : l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère.

Un sol provient de la décomposition d'une roche, que l'on appelle pour cette raison : " roche mère ". Il peut s'agir aussi bien d'une roche dure (granite, schistes, grès...) que d'une roche tendre (craie, marne, argiles...) ou d'une roche meuble (sables, éboulis, loess...). L'intensité de la désagrégation physique et de l'altération chimique dépend du climat, véritable moteur de la formation des sols (Soltner, 1986).

Le sol est un milieu poreux où se déroulent de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques. C'est un système multi composant ouvert formé par trois phases : solide, liquide, gazeuse. Comme tout système ouvert, il subit un certain nombre d'échange de matière et d'énergie avec l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère, les sols sont également considérés comme des milieux chimiquement réactifs où toutes les phases sont en équilibre.

I.2 Dégradation du sol

La dégradation du sol peut être considérée comme une accumulation de plusieurs effets provoqués par les polluants anthropologique sur les diverses transformations physiques, chimiques et biologiques se déroulant dans le sol. La tendance à la dégradation dépend de la résistance du sol, aussi bien que du type, de la qualité, de la longévité, et de la bioréactivité des polluants en question (Rabia et Ali Adem, 2007).

I.2.1 Facteurs de dégradation du sol

a) Déforestation

La déforestation est le phénomène de régression des surfaces couvertes de forêt. Elle résulte des actions de déboisement puis de défrichement, liées à l'extension des terres agricoles, à

l'exploitation des ressources minières du sous-sol, à l'urbanisation, voire à l'exploitation excessive ou anarchique de certaines essences forestières.

La déforestation entraîne la perte de la couche supérieure du sol à la suite de l'érosion des sols. Il existe quatre causes essentielles de déforestation qui bien souvent conjuguent leurs effets :

- ❖ les coupes abusives pour l'exploitation du bois.
- ❖ le sur pâturage.
- ❖ l'incendie.
- ❖ la défriche (Ramade, 1981).

b) Grands chantiers de génie civil

L'utilisation du sol est encore plus différenciée, l'habitat couvre en moyenne les deux tiers de la superficie (Laborde, 1994), se qui explique L'espace de surface du sol diminue au fur et à mesure que ce dernier se recouvre de bâtiments, des installations industrielles, de routes imperméables, de pistes d'aéroport et d'autres surfaces artificielles (Damien, 2009).

Le secteur économique, les voies de communication, les loisirs et la récréation se répartissent l'autres tiers dans les proportions très variables d'une ville à l'autre (Dère, 2006).

I.3 Définition de la pollution du sol

La notion de la pollution du sol désigne toutes les formes de la pollution touchant n'importe quel type de sol (agricole, forestier, urbain...).

Elle désigne sa dégradation par l'introduction, de substances chimiques ou organiques, gènes ou de radiations (radioactivité, lumière artificielle), altérant de manière plus ou moins importante le fonctionnement de l'écosystème (Mackenzi et Ball, 2000).

I.4 Les causes anthropiques

L'activité humaine, qu'elle soit industrielle (chimie, papeterie, industrie agroalimentaire, etc.), urbaine (usages domestiques, commerce, entretien des rues), ou agricole (utilisation d'engrais et de pesticides), produit quantité de substances polluantes de toute nature qui sont à l'origine de différents types de pollutions.

I.4.1 L'industrie

Les rejets des unités industrielles sont responsables de pollution pour tous les sols dans lesquels ils finissent. Les rejets industriels comportent des eaux usées, des déchets solides (miniers) et gazeux (Ould Kankou, 2004) qu'ils contribuent de façon croissante à la contamination des sols. Les apports de (DIS) et de dioxine ou encore de métaux toxiques (Ramade, 2000).

Les déchets industriels sont de nature très variée, la majorité d'entre eux dénommés DIB (Déchets Industriel Banaux) est constituée par des débris relativement inertes surtout de nature minérale. Le reste correspond à des déchets chimiques dangereux, généralement très toxique (DIS). Dans certains cas, de vastes surfaces de sols ont ainsi été frauduleusement contaminées par des éliminateurs de déchets peu scrupuleux (Ramade, 2005).

I.4.1.1. L'hydrocarbure

a) Définition

Les hydrocarbures, au sens chimique du terme, sont des composées organiques ne contenant que du carbone et de l'hydrogène, associé en molécule d'une grande diversité (Bocard, 2006).

Ils regroupent différents produits pétrolier (pétrole brute, pétrole raffiné, kérosène, essence, fuel, lubrifiants, huiles à moteurs. (Lemière et al., 2001).

b) Origine

Les hydrocarbures présents dans les sols proviennent généralement d'une pollution pétrolière (production, raffinage, transport et utilisation des hydrocarbures) ou issue de la pétrochimie, d'usines à gaz, de l'industrie chimique de base, la fabrication de caoutchouc, ou les industries mécaniques (Jeannot, 2001).

c) Pollution du sol par les hydrocarbures

La cause principale de pollution par les hydrocarbures dans les milieux continentaux provient des combustions incomplètes des charbons et des fuels (Ramade, 2000). Ainsi à des rejets, volontaires ou non, de produits pétroliers. Elle relève à la fois de la pollution chimique et de pollution organique. On distingue :

- ❖ les hydrocarbures aromatiques : benzène, toluène, xylène, etc..., ont bas point d'ébullition, ils sont des poisons violents. les doses toxiques vont de 10 à 90 ppm pour le benzène et Seulement de 4 à 5 ppm pour le naphthalène.
- ❖ les hydrocarbures paraffiniques, ont un point d'ébullition plus élevé, comme le kérosène et certains lubrifiants, ils sont moins toxiques mais et perturbent divers mécanismes biologiques par blocage des organes sensoriels.
- ❖ les hydrocarbures oléfiniques, abondants dans les produits raffinés et dont l'action est comparable à celle des paraffines (Koller, 2004).

Généralement la présence dans la couverture pédologique, de polluants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), liée à des activités industrielles passé ou actuelles est préoccupante, en raison de leur toxicité et de leur persistance (Gérard et al., 2005).

En fin, les hydrocarbures aliphatiques provenant des pétroles bruts et du gasoil sont les principaux polluants environnementaux des sols (Mackenzi et Ball, 2000).

I.4.1.2 Les rejets industriels

Les rejets d'eaux usées sont deux types bien distingués: urbains et industriels (Saïd Ouali, 2001).

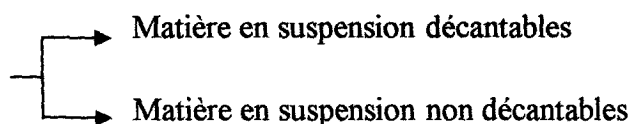
a) Urbains

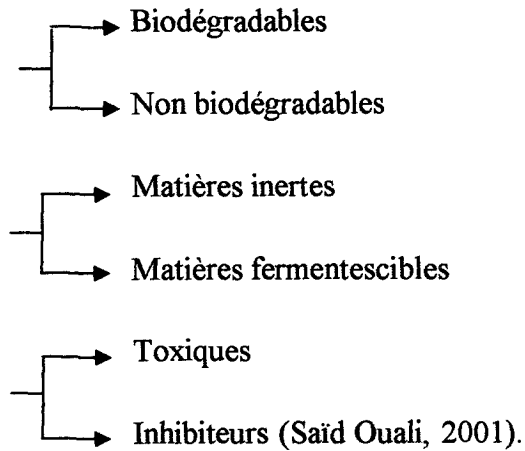
Les eaux usées résultant de l'activité urbaine recueillent les métaux provenant des canalisations, des toitures, de la voirie, des excréta humains, des produits lessiviels, pharmaceutiques ou d'hygiène (Saïd Ouali, 2001). Ces apports sont caractérisés par de fortes teneurs en ammonium et en phosphate ; ils sont également constituées par :

- Eaux ménagères (lavage corporel et de la ligne, eaux de cuisine),
- Eaux vannes chargées et fèces et d'urines,
- Eaux de lavage de voirie.
- Eaux pluviales.

b) Industriels : représenté par les rejets des usines, ils sont caractérisés par une grande diversité de la composition chimique.

On peut les classer en fonction du contenu de ces rejets :





I.4.2 L'agriculture

L'agriculture est devenue une cause importante de la pollution des sols (Ramade, 2000) par l'étendue considérable des surfaces affectées et, à la fois, par l'intensité et la fréquence du traitement des sols cultivées par divers types de produits phytosanitaires (Ramade, 2005) dont certains présentent une telle toxicité comparable à celle des armes chimiques. Les pollutions agricoles présentent la particularité d'être diffuses, les engrais et pesticides étant répandus sur de vaste surface (Ramade, 2000).

I.4.2.1 Les engrais

a) Définition et origine

Tout produit contenant au moins 5% ou plus de l'un ou plus des trois principaux éléments nutritifs des plantes (N, P₂O₅, K₂O), fabriqué ou d'origine naturelle, peut être appelé engrais. Les engrais issus de fabrication industrielle sont appelés les *engrais minéraux*. Si le sol est pauvre en l'un seulement des éléments indispensables aux plantes, la croissance de celles-ci est limitée et leurs rendements réduits. Si nous voulons obtenir de bons rendements, nous devons fournir aux cultures les éléments dont le sol n'est pas suffisamment pourvu. Les engrais permettent souvent de doubler et même de tripler les rendements.

Grâce à ces propriétés, les engrais organiques sont souvent à la base de l'obtention de meilleurs effets résultant de l'utilisation des engrais minéraux. La combinaison d'engrais organiques et minéraux crée les meilleures conditions de production pour les cultures, car la matière organique et/ou les engrais organiques améliorent les propriétés du sol, alors que les engrais minéraux apportent aux plantes les éléments nutritifs qui leur sont nécessaires (Fao, Ifa et Imphos .; 2003).

b) Pollution du sol par les engrais

Pour des raisons de prix de revient les engrais industriels ne sont pas purifiés. ils contiennent à l'état de trace de nombreux métaux et métalloïdes toxiques comme l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le plomb, le nickel, le vanadium, le zinc...etc. (Barbault, 2002) apportés par les superphosphates qui doivent être ajoutées des quantités significatives de ces mêmes éléments. L'usage de pesticides tel l'arséniate de plomb, herbicides totaux à base de dérivés organiques de l'arsenic, s'accumulent dans les horizons superficiels des sols. Il y a là, un risque sérieux de contamination des terres cultivées (Ramade, 2005).

Les engrais chimiques comme le nitrate d'ammonium, le nitrate de cadmium, le sulfate d'ammonium, les superphosphates, nécessaires à la production croissante d'aliments, sont devenus une source importante de pollution des sols. Délivrés en excès et de manière répétée au long des années ils polluent le sol en effet par le déséquilibre de certain cycles biogéochimiques et la dégradation des sols (Barbault, 2002).

I.4.2.2 Les pesticides

a) Définition

Le pesticide vient du mot anglais Pest qui signifie animal ou plante nuisible à la culture. Les pesticides ou produits phytosanitaires sont l'ensemble de substances chimiques, qui par leur effet peuvent détruire de façon totale ou partielle (Ould Kankou, 2004).

Les plantes et les animaux qui sont nuisibles à l'homme, aux plantes et aux animaux qui lui sont utiles (Bliefert et Perraud, 2003).

b) Origine

Les pesticides dans les sols sont amenés par les activités agricoles, mais aussi des activités non agricoles, comme le désherbage des réseaux routiers et ferrés ou l'entretien des espaces verts et jardins. Les industries chimiques produisant ces composés et leurs stockages peuvent constituer des sources ponctuelles ou concentrées (Jeannot, 2001).

c) Classement selon leur cible biologique

- les insecticides utilisés contre les insectes nuisibles.
- des acaricides qui détruisent les acariens.

- des nématicides employés contre les nématodes phytoparasites
- hélicides qui détruisent les gastéropodes pulmonés nuisibles aux cultures (limaces par exemple).
- rodenticides qui tuent les rongeurs.
- fongicides utilisés contre les champignons phytopathogènes (ou vecteurs de mycoses animales ou humaines).
- herbicides qui détruisent les plantes adventices des cultures et, de façon plus générale, toute végétation jugées indésirables, dont les défoliants qui sont plus spécialement actifs contre la végétation ligneuse (broussailles, arbres) (Ramade, 1998).

Et selon la composition chimique de celles-ci on distingue:

- Les organophosphorés.
- Les organochlorés.
- Les carbamates.
- Les pyréthriinoïdes de synthèse.

d) Pollution du sol par les pesticides

Il reste que la pollution des sols par les pesticides est un phénomène quasi universel, les mécanismes de dispersion sont très nombreux et dépendent principalement du couvert végétal, des caractéristiques du sol, du fonctionnement hydrologique, et donc des substrats géologiques et des conditions climatiques pendant et après l'application, et de la composition des produits épanchés ; alors qu'ils peuvent jouer un rôle important (Aubertot et al., 2007).

Le danger potentiel des pesticides pour l'environnement résulte de la forte écotoxicité de certaines de ces substances liées à une persistance dans les sols qui se compte en années voire en décennies (Ramade, 2000). La contamination des sols par les pesticides persistants et plus particulièrement par les insecticides organochlorés est devenue un phénomène cosmopolite (Ramade, 2005) ; mais aussi les produits de dégradation d'autres insecticides, de fongicides et même d'herbicide, peuvent également persister dans les sols. Tels est le cas de certaines triazines dont l'usage systématique sur les cultures de maïs peut rendre aléatoire l'usage de ces sols contaminés à toute autre culture que cette plante.

II.1 Définition

L'expression « *métal lourd* » désigne pour les chimistes des métaux de numéro atomique élevé, de densité supérieure à 5 g/cm³ (Di Benedetto, 1997; Jeannot, 2001), et formant des précipités insolubles avec les sulfures (Schaud et feix, 2005), ils sont également des bons conducteurs de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité (Miquel, 2001).

Le cadmium, le manganèse, le cobalt, le chrome, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel et le zinc sont les métaux les plus souvent rencontrés dans les sols (Jeannot, 2001). Le clech (1998) nous indique qu'ils sont en concentration dans les êtres vivants à moins de 1‰.

II.2 Origines

Tout comme les polluants organiques, la dissémination des éléments en traces dans l'environnement provient soit de processus naturels, soit des activités humaines (Baize et Tercé coord, 2002; Laurant, 2005).

II.2.1 Origines naturelles

Les éléments traces métalliques sont naturellement présents dans les roches mères (roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires). Tous les sols contiennent naturellement des éléments traces métalliques. L'activité volcanique et les feux de forêts sont d'autres sources naturelles des polluants métalliques rejetés dans l'atmosphère (Laurant, 2005).

La présence des éléments traces métalliques dans les sols n'est pas indicatrice d'une pollution (Burnol et al., 2006).

Tableau 01: contenu des roches en éléments traces (en mg/kg) (Laurant, 2005).

Eléments	Roches magmatiques			Roches sédimentaires		
	Roches Basiques	Roches intermédiaires	Roches acides	Roches argilo- sableuses	grès	carbonates
Cd	0,13-0,22	0,13	0,009-0,20	0,22-0,30	0,05	0,035
Co	35-50	1,0-10	1-7	11-20	0,3-10	0,1-3,0
Cr	170-200	15-50	4-25	60-100	20-40	5-16
Cu	60-120	15-80	10-30	40	5-30	2-10
Hg			0,08	0,18-0,40	0,04-0,10	0,04-0,05
Mn	1200-2000	500-1200	350-600	500-850	100-500	200-1000
Mo	1,0-1,5	0,6-1,0	1-2	0,7-2,6	0,2-0,8	0,16-0,40
Ni	130-160	5-55	5-15	50-70	5-20	7-20
Pb	3-8	12-15	15-24	18-25	5-10	3-10
V	200-250	30-100	40-90	100-130	10-60	10-45
Zn	80-120	40-100	40-60	80-120	15-30	10-25

II.2.2 Origines anthropiques

Du fait de leurs propriétés physiques intéressantes (bons conducteurs de chaleur et d'électricité, caractéristiques de dureté, de malléabilité, possibilités d'alliages, propriétés catalytiques, etc.) les métaux sont très largement utilisés par l'homme. Cette utilisation n'a apporté aucun changement quant aux quantités de métaux présentes sur terre : l'activité humaine ne crée ni ne détruit des éléments métalliques. En revanche, elle modifie très significativement leur répartition et les formes chimiques sous lesquelles ils sont présents dans l'environnement.

Les gisements et les filons métallifères sont exploités, parfois de très longue date. Mais l'activité minière peut être à l'origine d'une dispersion des métaux dans l'environnement. Le milieu aquatique, notamment, peut être contaminé *via* les eaux de ruissellement. Toutefois l'industrie est toujours responsable de la majorité des rejets directs dans le sol. Par ailleurs, le traitement des minerais et l'industrie métallurgique restent à l'origine d'émissions atmosphériques importantes (LE goff, 2004).

II.3 Caractéristiques des métaux lourds

Dans l'environnement, les ETM sont retrouvés principalement associés à d'autres molécules (composés inorganiques ou organiques). Les complexes, ainsi formés, possèdent des propriétés physico-chimiques extrêmement variables: le zinc complexé au phosphate (le phosphate de zinc $[Zn_3(PO_4)_2]$) est insoluble dans l'eau, alors que ce même élément associé au sulfate (le sulfate de zinc $[Zn_3(SO_4)_2]$), est fortement soluble (solubilité aqueuse de 220mg /l à 20°C). (Laurent et al., 2005). Les métaux ont aussi quelques caractéristiques physico-chimiques communes :

- ils ne se détruisent pas, ils se transportent et changent de forme chimique.
- Ils ont une conductivité électrique élevée, qui explique leur utilisation dans de nombreuses industries
- Mais surtout, ils présentent une certaine toxicité pour l'homme, entraînent notamment des lésions neurologiques plus ou moins graves (Bekaert, 2004).

II.4. Propriétés physico-chimiques des métaux lourds

a) Solubilité

La solubilité dans l'eau indique la tendance à la mobilisation du métal par lessivage ou par ruissellement. La solubilité dépend de l'élément et les conditions chimique environnante (PH, potentiel d'oxydoréduction) (Barbaste, 2004). Le cadmium à l'état de métallique n'est pas soluble dans l'eau (loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1994 ; martine and simon, 2004 ; pichard, 2005). Toutefois, plusieurs de ses composés sont facilement solubles ; c'est le cas des formes chlorure ($CdCl_2$), bromure ($CdBr_2$), iodure (CdI_2), nitrate Cd (NO_3) et sulfate $CdSO_4$ (pichard, 2005). La solubilité d'un élément peut varier selon sa spéciation, c'est-à-dire sa répartition entre différents états de valence, qui représente un paramètre essentiel notamment pour l'arsenic et le chrome (barbaste, 2004). Dans ce sens, la solubilité du chrome VI est importante alors que le chrome III est généralement peu soluble (pichard, 2005). Les arsénites sont considérés comme étant 4 à 10 fois plus solubles que les arsénates (Barbaste, 2004 ; Pichard, 2005).

b) Volatilité

La volatilité influe sur la libération par évaporation naturelle des polluants infiltrés dans les sols. D'une façon générale, les métaux sont à considérer comme non volatils à l'exception du mercure (Barbaste, 2004).

c) Persistance de métaux

C'est la persistance des métaux qui est particulièrement prononcée dans l'environnement contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Les métaux et leurs composés sont souvent transportés sur de grandes distances par l'air ou l'eau sans subir de transformations.

En ce qui concerne les métaux lourds, une autoépuration des sols n'est pas possible. Car ils sont si solidement fixés aux argiles ou aux composés humiques, qu'ils ne sont presque pas entraînés par l'eau. Pour cette raison, les métaux lourds s'accumulent souvent fortement dans le sol ou dans les sédiments.

Beaucoup de minéraux (argiles, oxydes métalliques) et les composés humiques possèdent des charges à leurs surfaces, avec lesquelles des ions métalliques peuvent se fixer et devenir alors échangeables (Bliefert et Perraud, 2009).

II.5 Utilisations des métaux lourds

En effet, de par leurs propriétés, ils entrent dans la composition d'une grande variété de produits, et se retrouvent à de nombreux niveaux: métallurgie, chimie, pharmacie, énergie, etc. Il semble donc assez difficile de s'en passer et de les substituer (Di Benedetto, 1997).

Tableau 02 : applications industrielles et agricoles de certains éléments traces métalliques (Laurant, 2005)

Eléments	Utilisation
Arsenic et ses dérivés	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traitement des bois ▪ Élément intervenant dans la fabrication de batteries électriques (arsenic améliorant la résistance à la corrosion électrique) ▪ Semi-conducteur (arséniure de gallium) ▪ Agent décolorant dans l'industrie du verre ▪ Pigment de peinture en association avec le cuivre ▪ Molécule utilisée dans la fabrication de plomb de chasse pour augmenter la dureté ▪ Élément intervenant dans la fabrication d'alliages avec le cuivre, le plomb et l'or pour augmenter la dureté ▪ Pesticide (arséniate de plomb)

Plomb et ses dérivés	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Molécules utilisées dans la confection des produits extrudés et des réservoirs ▪ Élément utilisé en soudure, imprimerie, tuyauterie ▪ Molécules utilisé dans la confection des peintures à huile et à eau (oxyde de plomb, tétraoxyde de plomb, carbonate de plomb) ▪ Élément intervenant dans la fabrication du papier (carbonate de plomb)
Zinc et ses dérivés	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agent de revêtement pour protéger les métaux contre la corrosion (chlorure de zinc, phosphate de zinc, distéarate de zinc) ▪ Élément intervenant dans la fabrication d'alliages ▪ Molécules utilisées dans la construction immobilière (chlorure de zinc) ▪ Intermédiaire dans la fabrication de dérivés de zinc (oxyde de zinc) <p>Agent réducteur en chimie organique</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Réactif en chimie analytique (oxyde de zinc) ▪ Composants utilisés dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique (chlorure de zinc, distéarate de zinc) ▪ Molécules utilisées dans la fabrication des fongicides <p>Lubrifiant (distéarate de zinc)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Produits de démoulage dans la confection des pièces moulées ▪ Éléments intervenant dans la fabrication de fongicides (chlorure de zinc) ▪ Additif dans les aliments pour animaux d'élevage

II.6 Les principaux métaux lourds

II.6.1 Cadmium

a) Généralité

Le cadmium est un métal relativement rare dans la nature. Cet élément est caractérisé par numéro atomique (48), masse atomique (112.41 g/mol) (Ramade, 2000), avec une température de fusion est égale à 321.1°C et une température d'ébullition de 766.9°C (coursier et al., 1986), il apparaît au-dessous du zinc dans la deuxième rangée de l'élément de transition dans la table

périodique et partage un certain prospérité commun avec du Zn (Landis et Ho Yo, 1999; Wright et Welbourn, 2002) Il est présent dans la croûte terrestre à des concentrations d'environ 1 à 2 ppm, où il est souvent associé au zinc et au plomb (Di Benedetto, 1997).

Le Cadmium se présente comme un métal tendre de couleur blanc argenté. Cet élément ne possède ni odeur ni saveur caractéristique. Dans la nature, le cadmium n'existe pas, en général, sous sa forme métallique pure, mais plutôt sous celle d'un minéral associé à d'autres éléments tels que l'oxygène (oxyde de cadmium), le chlore (chlorure de cadmium) ou le soufre (sulfate de cadmium, sulfure de cadmium). Les chlorures et les sulfates de cadmium sont les formes les plus solubles (Public Health Statement, 1990).

b) Cadmium dans le sol

Le cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines (Casas, 2005). Les sols et les roches en contiennent des quantités variables en général peu, mais parfois en abondance.

Dans les sols non pollués, les concentrations moyennes de cadmium tournent autour de 0,25 ppm, mais elles peuvent atteindre 4 ppm sur certains sites abritant des résidus toxiques (Public Health Statement, 1990).

En raison de ses propriétés physico-chimiques, le Cd est un des métaux lourds les plus solubles dans le sol. Dès que la concentration de Cd augmente dans la terre, les plantes l'absorbent avidement (Verloo, 2003).

II.6.2 Chrome (Cr)

a) Généralité

Élément de numéro atomique (24) et de masse atomique (52g/mol) dont le corps simple est un métal. Il existe deux formes du chrome (trivalent et hexavalent) (Ramade, 2000), avec une densité de 7.2g /cm³ une température de fusion est égale à 1857 °C et une température d'ébullition de 2672°C, il apparaît dans le premier rangée de l'élément de transition dans la table périodique (coursier et al., 1986).

Il est donc un métal dur, blanc grisâtre, possédant 3 degrés principaux d'oxydation (II, III, VI) et cinq états d'oxydation inhabituels (-II, -I, 0, IV, V). L'état d'oxydation conditionne la stabilité (Bur, 2008), La teneur moyenne du chrome dans la croûte terrestre serait comprise entre 100 et 200 mg/kg (Burnol et al., 2006).

Le chrome entre dans la composition d'aciers inoxydables, d'aciers spéciaux et d'alliages, et améliore aussi la dureté des métaux et leur résistance à la corrosion (Pichard, 2005).

b) Chrome dans le sol

Le chrome se trouve rarement naturellement sous sa forme élémentaire (Burnol et al, 2006), il se rencontre en petites quantités à l'état naturel dans tous les types de roches et de sols, sous plusieurs degrés d'oxydation, principalement chrome III et un peu chrome VI. Le chrome VI est largement transformé en chrome III dans les sols, les sédiments (favorisé en conditions anaérobiques et à un pH faible), et le chrome III s'adsorbe plus que le chrome VI (Pichard, 2005), Les roches éruptives ultramafiques sont celles qui contiennent le plus de Chrome.

Dans les sols le Chrome est d'ordinaire peu phytodisponible, mais sa disponibilité augmente pour des pH neutres à basiques (différent de la majorité des ETM) (Bur, 2008)

II.6.3 Cuivre

a) Généralité

Élément à numéro atomique (29) et de masse atomique (63,5 g/mol) (Ramade, 2000), avec une température de fusion est égale à 1084.4 °C et une température d'ébullition de 2566.9°C, il apparaît au-dessous du zinc dans la deuxième rangée de l'élément de transition dans la table périodique (coursier et al., 1986).

La composition moyenne de la croûte terrestre en cuivre serait comprise entre 45 et 70 mg/kg (Burnol et al, 2006), il est très malléable et malléable est un excellent conducteur de la chaleur et de l'électricité, fondant au 1.083°C (Wright et Welbourn, 2002) existe à l'état natif. La teneur en cuivre dans les minerais varie de 0,5 % à 5 %. Elle est de 0,01 % dans les roches volcaniques et 0,0055 % dans les roches cristallines.

Le cuivre est principalement produit par broyage de minerais sulfurés et enrichissement par flottation ou par lessivage acide des minerais oxydés suivi d'une fusion et d'un raffinage électrolytique ou thermique (Pichard, 2005).

b) Cuivre dans le sol

Selon Public Health Statement, (1990) Le milieu environnemental le plus exposé au cuivre est le sol : 97 % du cuivre libéré dans l'environnement s'y retrouve contre seulement environ 3 % dans les eaux et 0,04 % dans l'air.

Aux teneurs naturelles, les sols se trouvent également enrichis par l'utilisation excessive de fertilisants et de produits agro-sanitaires tels que les insecticides, les fongicides, les algicides qui sont à la base de sels de cuivre, notamment les sulfates de cuivre (kadem, 2005).

Il est adsorbé de manière importante par les sols, plus que les autres métaux étudiés. Cependant, le cuivre a également une affinité élevée pour les ligands organiques solubles et la formation de ces complexes peut augmenter très fortement la mobilité de cet élément (Burnol et al., 2006).

II.6.4 Fer

a) Généralité

Le fer est l'un des éléments les plus abondants dans l'écorce terrestre après l'oxygène (Pédro, 2004) élément à numéro atomique (26) et de masse atomique (55,84 g/mol), avec une densité de 7,86. Le fer pur fond vers 1540°C et bout vers 2750°C, il apparaît dans le premier rangé de l'élément de transition dans la table périodique (coursier et al., 1986).

Le fer à l'état libre se trouve dans la grande catégorie des oxydes, hydroxydes et hydrates (concrétions ferrugineuse, horizon b des podzols, fer latéritique et fer minéral des sols bruns). Ce fer libre se trouve sous forme Fe^{+++} en milieu oxydant ou sous forme Fe^{++} en milieu réducteur. C'est sous cette forme réduite que le fer peut facilement migrer et se déposer ensuite en condition plus oxydantes (auréoles brunes et passage de racines) (Duthil, 1973).

b) Le fer dans le sol

Le fer est un élément indispensable à la vie (cofacteur biochimique essentiel au bon déroulement des réactions d'oxydo-réduction), mais peu disponible à l'état libre dans les sols (Pédro, 2007).

Le fer organique est retenu par chélation à la matière organique polaire du sol ; un groupement carboxyles à proximité d'un groupement hydroxyle. La décomposition des résidus végétaux fait apparaître un grand nombre de polyphénols et d'acide organique (tartrique, oxalique, citrique, etc).

Le passage de la forme Fe^{++} à la forme Fe^{+++} s'accroît dans le cas d'une augmentation de pH ou d'une élévation de la pression d'oxygène dans le sol. En dehors du véhicule organique c'est donc l'acidité et le manque d'aération qui peuvent faciliter le transfert de ce métal dans le sol (Duthil, 1973).

II.6.5 Manganèse

a) Généralité

Le manganèse est une substance qui existe naturellement dans un grand nombre de roches, il est obtenu par extraction et transformation de roches riches en composés de manganèse. Mélangé au fer. Cet élément est caractérisé par numéro atomique (25), masse atomique (54.93 g/mol) (Ramade, 2000), avec une température de fusion est égale à 1243.9°C et une température d'ébullition de 1961.9 °C, il apparaît dans la deuxième rangée de l'élément de transition dans la table périodique (coursier et al., 1986).

Le manganèse ne présente ni saveur ni odeur particulières. A l'état pur, il apparaît sous la forme d'un métal de couleur argentée. Dans la nature, le manganèse est principalement lié à d'autres éléments tels que l'oxygène, le soufre et le chlore. Ces formes associées, appelées composés, sont des solides qui ne s'évaporent pas (Public Health Statement, 1990).

b) Manganèse dans le sol

Le manganèse et certains composés de manganèse existent spontanément dans la nature sous forme solide, La mobilité du manganèse dans un sol, et donc la proportion susceptible d'y rester, dépend de son état chimique et de la nature du sol où il se trouve. Deux pesticides, le manèbe et le mancozèbe, contribuent également aux émissions de manganèse dans l'environnement à l'occasion de leur application dans les champs ou de déversements sur les lieux de leur conditionnement (Public Health Statement, 1990).

II.6.6 Plomb

a) Généralité

Elément pauvre de numéro atomique (82) et de masse atomique (207 g/mol), avec une température de fusion est égale à 327.5°C et une température d'ébullition de 1748.9°C, il apparaît au-dessous du zinc dans la deuxième rangée de l'élément de transition dans la table périodique (Wright et Welbourn, 2002 ; Landis et Ho Yo, 1999), dont le corps simple est un métal gris bleuâtre mou, il s'agit d'un métal lourds (Ramade,1995), La concentration moyenne en plomb de la croûte terrestre serait de l'ordre de 13 à 16 mg/kg (Burnol et al., 2006).

Le plomb existe sous trois formes essentielles:

- ❖ le plomb dissous
- ❖ le plomb colloïdal
- ❖ le plomb particulaire (Casas, 2005)

Le plomb est naturellement présent dans la croûte terrestre il représente environ 0,002% de cette dernière. Il se trouve généralement sous forme peu soluble (Secchi, 2008). Il ne possède ni odeur ni saveur particulières. Le plomb métallique ne se dissout pas dans l'eau et ne brûle pas. Il peut s'associer avec d'autres substances pour former ce que l'on appelle généralement des composés de plomb ou des sels de plomb (Public Health Statement, 1990)

b) Plomb dans le sol

Le plomb contenu dans les roches peut se retrouver dans les sols, par altération de ces dernières, à des teneurs variables selon la composition initiale de la roche mère. De même, il est présent dans tous les autres compartiments de l'environnement (Secchi, 2008).

La plupart du plomb présent dans les sols du centre des villes provient des bâtiments anciens dont les peintures contenaient du plomb et de l'échappement des automobiles du temps où l'essence contenait encore du plomb (Public Health Statement, 1990).

Le plomb soluble ajouté au sol réagit avec des argiles, phosphates, sulfates, carbonates, hydroxydes et la matière organique, si bien que la concentration du plomb en phase aqueuse est fortement diminuée. Pour des pH supérieurs à 6, le plomb est soit adsorbé à la surface des argiles soit sous forme de carbonate de plomb (Burnol et al., 2006).

II.6.7 Zinc

a) Généralité

Cet élément est caractérisé par numéro atomique (30), masse atomique (65.38 g/mol) (Ramade, 2000), avec une température de fusion est égale à 419.5 °C et une température d'ébullition de 906.9°C, il apparaît au-dessous du zinc dans le premier rangée de l'élément de transition dans la table périodique (coursier et al., 1986).

La teneur moyenne en zinc de la croûte terrestre serait comprise entre 70 et 132 mg/kg, (Burnol et al, 2006), il prend l'aspect d'un métal brillant, de couleur blanc bleuâtre. Il n'y a pas d'information sur la saveur et l'odeur du zinc sous cette forme. A l'état de poudre, le zinc est un explosif susceptible de prendre feu subitement s'il est stocké à l'humidité.

Le zinc peut en outre se lier à d'autres éléments, et en particulier au chlore, à l'oxygène et au soufre, pour former des composés de zinc (Public Health Statement, 1990).

b) Zinc dans le sol

Le zinc est présent dans l'air, l'eau et les sols à la suite des processus naturels et des activités humaines (Public Health Statement, 1990), les teneurs en Zn dans les sols non contaminés sont généralement les plus élevées de tous les ETM. En contexte contaminé, si la concentration en Zn dépasse 300 µg.g⁻¹, il est également un métal, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène de l'air pour former une couche d'oxyde blanc imperméable. On le trouve généralement à l'état d'oxydation II (Bur, 2008).

Burnol et al en (2006) montre que La précipitation n'est pas un mécanisme majeur de rétention de Zn dans les sols à cause de la solubilité élevée des composés de Zn. En tant que métal cationique, l'adsorption de Zn augmente avec le pH. Le zinc s'hydrolyse à pH>7,7 et les espèces hydrolysées sont fortement adsorbées sur les surfaces du sol. Cependant, le zinc peut également former des complexes avec les ligands organiques et inorganiques ce qui diminue les réactions d'adsorption les niveaux de zinc dans les sols s'accroissent sous l'influence des dépôts de résidus de zinc issus des usines métallurgiques et de cendre de houille provenant des centrales électriques (Public Health Statement, 1990).

II.7 Conséquences écologiques de la pollution du sol

La plus grande partie de la biodiversité terrestre vit dans les sols et non au-dessus. L'activité biologique contribue à fabriquer les sols, le sol n'existe pas sans vie et la vie n'existe pas sans sol (Nield, 2007). Une des conséquences les plus sérieuses de la persistance des métaux est leur accumulation dans les chaînes alimentaires. Au bout de ces chaînes, les métaux peuvent atteindre des concentrations qui sont supérieures de plusieurs puissances de 10 à celles trouvés dans l'eau ou dans l'air. Cela peut aller si loin qu'une plante ou un animal ne puisse plus servir de nourriture pour homme (Bliefert et Perraud, 2009). certains métaux sont indispensables à la croissance des plantes et des animaux (Fe, Cu, Zn entre autres) ; parfois, la concentration et al nature de l'élément absorbé sont spécifiques à la plante ou à l'animal.

Lorsque la concentration d'un élément est supérieure à la capacité d'absorption de l'espèce présente dans le milieu, cet élément peut devenir toxique pour l'espèce et pour le milieu dans lequel elle évolue. Des concentrations anormalement élevées d'élément métalliques permettent ainsi d'identifier, d'éliminer ou de limiter les sources de pollution dans l'environnement (Centre expertise en analyse environnemental du Québec, 2003).

En fin. Les teneurs des métaux lourds peuvent également devenir toxiques pour l'homme et pour un grand nombre d'espèces végétales et animales, ou s'accumuler dans les chaînes alimentaires des écosystèmes et altérer la biodiversité des sols.

II.7.1 Sur la faune

Les pollutions constituent une cause insidieuse, souvent clandestine mais néanmoins importante de régression de la biodiversité, elles exercent un effet néfaste sur les populations d'espèces vulnérables (Gomez et al., 2004), en provoquant une diminution de leur reproduction (Kim & Koo, 2007), parfois même en augmentant le taux de mortalité des jeunes et des adultes. la baisse de l'effectif qui en résulte augmente alors la vulnérabilité de la population survivante aux autres facteurs d'extinction (Ramade, 2000)

Il reste que la pollution des sols par les pesticides est un phénomène quasi universel et que les cas d'intoxication chronique d'espèces animales sont communs (Barbault, 2002).

La toxicité des du chrome sur les animaux dépend principalement de leur valence et de leurs propriétés physico-chimiques. C'est-à-dire augmente en fonction de la solubilité dans l'eau (Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1994).

II.7.2 Sur la flore

Il y a de nombreux produits industriels qui polluent les sols. Alors qu'en général les produits de l'agrochimie agissent sur les plantes par le sol, les polluants se trouvant dans les déchets, dans les eaux usées et dans les rejets gazeux peuvent avoir un effet direct supplémentaire sur les plantes (Bliefert et Perraud, 2009) les plantes sont parmi de nombreux organismes vivants qui solubilisent et accumulent des métaux lourds en les concentrant dans leurs tissus (Selonmichel Gobat et al., 1995; Brekhovskikh et al., 2001).

Le sol supporte la plante en lui fournissant une couche perméable pour ses racines. Il se comporte comme un entrepôt des éléments nutritifs et de l'eau. Les sols ne se ressemblent pas. Selon leur composition, ils ont une aptitude différente à fournir aux plantes les divers éléments nutritifs (Fao, Ifa et Imphos , 2003).

La disponibilité des éléments traces est dépendent du temps, de la plante, de la biomasse et des autres composantes du sol (Ramade, 2000). L'exposition excessive d'un végétal aux métaux lourds s'accompagne d'effets nuisibles sur la plante (risque phytotoxique) (Baize et Tercé coord, 2002). Les métaux présents dans l'atmosphère, déposés à la surface des organes (feuilles, tiges) et pénètrent à l'intérieur des organes par les stomates sous forme de particules, de composés

gazeux (Hg, As), ou ils peut être dissous dans les eaux de pluie ou d'irrigation.

Ils peuvent aussi pénétrer par les racines à partir du sol (Ramade, 2000). Une fois prélevés par un organe, les ET sont stockés ou transportés du lieu d'absorption vers un autre organe cible ou sont accumulés.

Une fois introduit dans la cellule végétale, le métal lourd va développer une toxicité liée à sa faible solubilité, à son pouvoir oxydant et/ou à sa faculté à remplacer des métaux biologiques. La parade mise en œuvre par les plantes au cours de l'évolution consiste à rendre plus solubles ces métaux en modifiant leur forme chimique, en les associant à des peptides (glutathion, phytochélatines...), puis à déplacer les complexes ainsi créés à l'aide d'autres transporteurs dans un compartiment où ils seront piégés et où leur toxicité sera moindre : la vacuole. Ce processus est nommé *hyperaccumulation* (Song et al., 2003).

Le cuivre présente une toxicité notable pour les plantes, La phytotoxicité apparait dès que les teneurs en cuivre se situent dans certains seuils, particulièrement dans les sols à faible capacité d'échange de cations (Baise ,2002).

Pour le Zn, les effets dépresseurs sur la croissance des plantes apparaissent progressivement. Dans des sols contaminés artificiellement par de fortes quantités de Zn, on observe une accumulation de ce métal dans les cellules du végétal en même temps qu'une baisse de rendement proportionnelle au Zn accumulé, sans effet de seuil (Baise ,2002).

Parti
Praxi

III.1 Les principales zones humides de Jijel

La position géographique stratégique de la wilaya de Jijel, sa configuration physique, composés de montagne et leur climat méditerranéen lui confère d'importantes zones humides qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique.

Les principales zones humides sont :

- Lac de Beni Bélaid
- Le marais El Kennar
- Le marais Redjla
- Ghedir Mellala

Les barages :

- Barrage Irraguen (volume régularisé de 100 Hm³)
- Barrage Agrame (Chadia)
- Barrage Kessir « El-Aouana » (capacité 47 Mm³/an)
- Barrage de Bousiaba « El-Milia » (capacité 134 Mm³/an)
- Barrage Tabellout « Djimla » (capacité 151 Mm³/an)

Retenus collinaires :

- Chakfa (03)
- Taher (02)
- El-Aouana (01)
- Settara (01)
- Jijel (02)
- Amir Abdel Kader (03)

Le marais de Redjla est la zone humide qui fait l'objet de notre étude est connue chez les gents de la région sous le nom de Ghedir El-Mardj (Anonyme, 2007).

III.2 Présentation de la zone d'étude

III.2.1 Situation géographique de Taher

Le cadre retenu pour notre étude est la petite région de Taher qui fait partie de la zone septentrionale centrale de la wilaya de Jijel. Elle recouvre sur le plan administratif les 4 communes qui sont avec Taher celles d'Emir Abdelkader, Oudjana et Chahna.

La commune de Taher est un petit territoire littoral d'un seul tenant est limité au nord par la mer méditerranée, au sud par les communes de Texenna Oudjana, Chahna et Bordj Thar. A l'ouest nous avons les communes de Jijel et Emir Abdelkader alors qu'à l'est c'est les communes de Chekfa et El-Kennar. Elle se situe entre 02 pôles économiques : Jijel le chef lieu de wilaya à l'ouest et El Milia chef lieu de daïra à l'est (Anonyme, 2007).

Ce territoire qui se situe à la périphérie de la ville de Jijel compterait en 2008 une population de 157.055 habitants soit 24,82% de la population totale de la wilaya. Sa superficie est de 224 ,4 km² soit 9,35% de la superficie totale de la wilaya. La densité la population est de l'ordre de 699 hts / km².

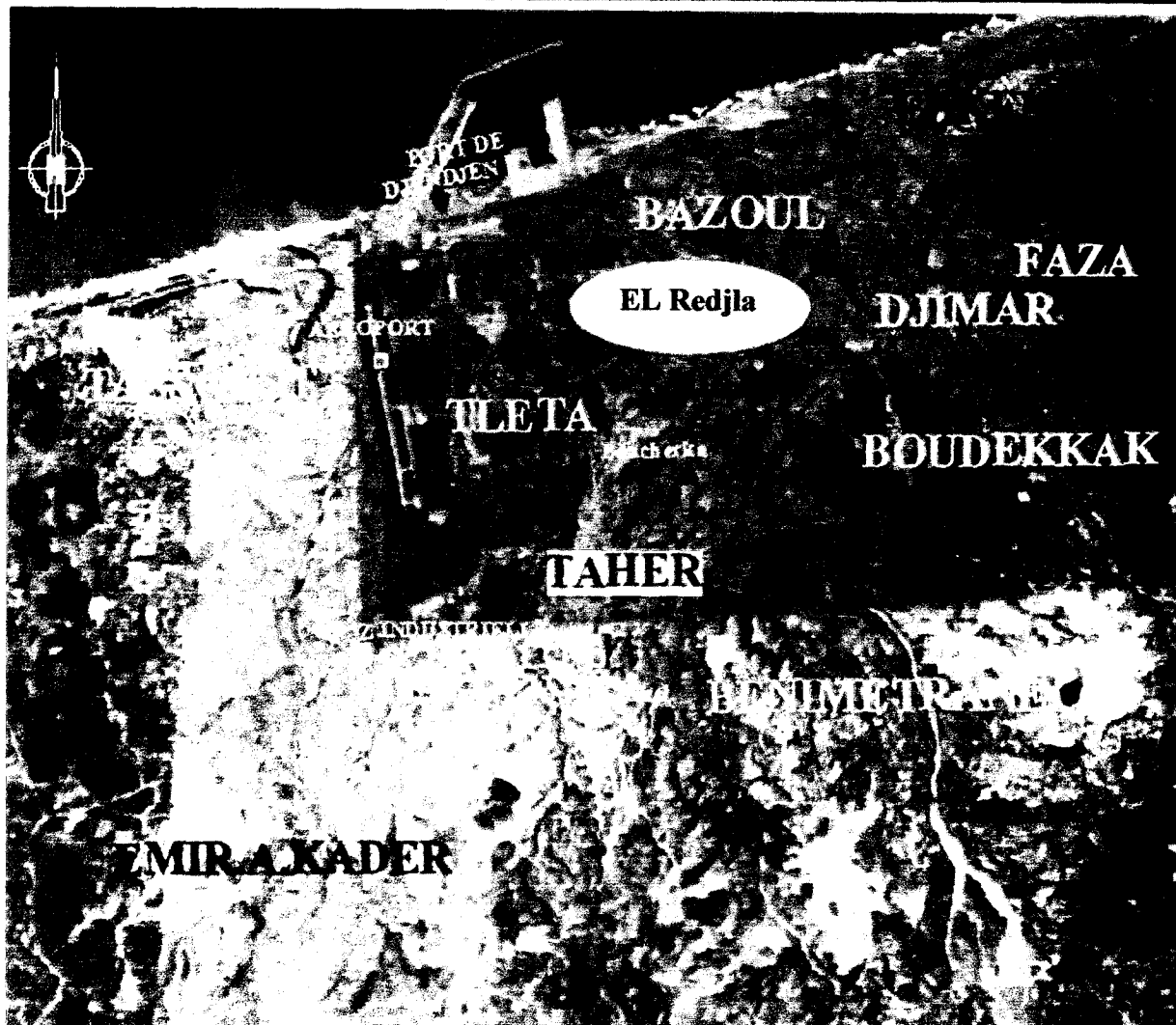
III.2.2 Localisation géographique de Redjla

La région de Redjla est située au nord-est de la wilaya de Jijel dans la commune de taher à 4 km de Taher et à 2 km de Bazoul.

Elle s'étend sur une superficie agricole total de l'ordre de 148 hectares, dont 128 hectares est utilisé entre autre on trouve 85 hectares superficies irriguées et 35 hectares superficie en sec.

Le marais *Ghedir El-Mardj* est localisée dans la région de *Redjla*

Elle est limitée au nord par des habitations et des cultures en serres à l'ouest par une colline et au sud-ouest par l'agglomération de t'hare.la partie sud-est est caractérisée par la présence d'habitation, de fermes et de culture en serre (Anonyme, 2007).



(Source :Google)

Fig.1 : Photo Satellite de la zone d'étude.

III.2.2.1 Description du site

- Nom de site : Marais de Redjla
- Type de zone humide : Marais, permanence de l'eau (douce) durant l'année.
- Terrain marécageux entouré de terre cultivé, fréquenté par *Bolboschoenus glaucus* (Lam.) S.G. Smith
- La surface planimétrie du marécage obtenue à partir de la carte topographique de la région .dont les coordonnées géographiques Lambert sont :
- Longitude : de 05°54'73 Est
- Latitude : de 36°48'10,0 Nord
- Altitude : 12 mètres.
- Superficie :15 ha.

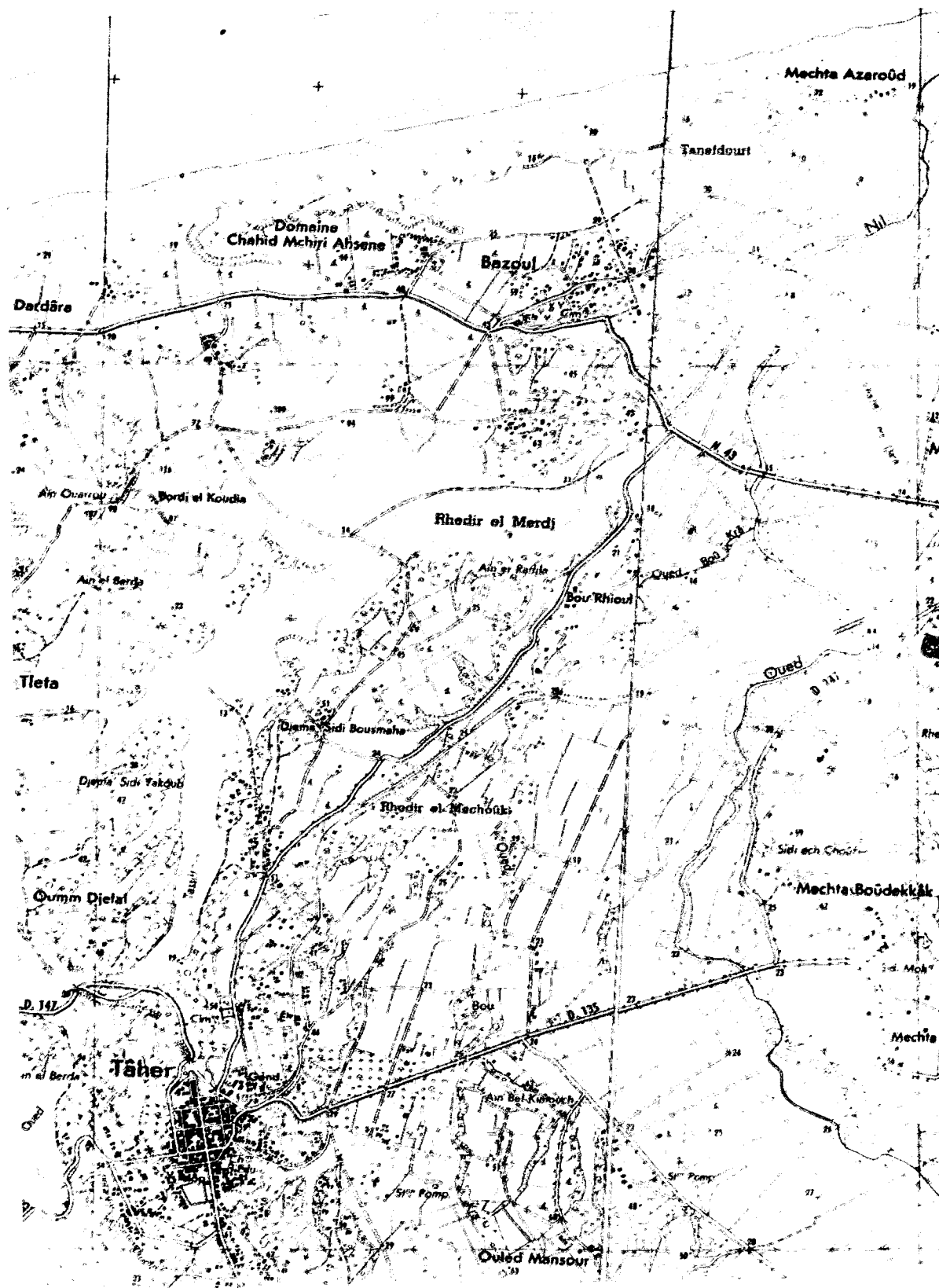


Fig. 2: Position géographique du marais de Redjla (1/ 25.000) (anonyme, 2007).

III.2.2.2 Aspect socioéconomique

La région de Redjla est essentiellement à vocation agricole, elle est caractérisée en particulier par la culture des maraîchères et des arboricoles. La population qui se trouve sur la zone d'étude est disséminée le long de la mare dans quelques hameaux. La plupart des habitants sont des agriculteurs possédant des fermes et des serres. Ils utilisent pour leur cultures des produits chimiques tel que les fertilisants et les engrais afin d'augmenter et d'améliorer le rendement agricole. Ces produits sous l'effet de pluie et de ruissellement s'infiltrent dans le sol et rejoignent le marais, entre autre, nous avons observé des activités de pâturage autour du marais (Anonyme, 2007).

III.2.2.3 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la région est constitué par deux Oueds principaux :

- Oued Nil : venant de la partie Sud-Est et se déverse dans la mer. Il se trouve à 5 Km de la mare Redjla.
- Oued Boukraa : venant de la partie Sud et se jette dans Oued Nil.

Un autre cours d'eau de la région est celui de Chaabet Tassift qui prend sa source de la région Sud-Ouest, traverse la mare et se déverse dans Oued Nil (Fig.2). Nous rencontrons aussi dans la région, des puits qui se situent au bord de la route qui passe au sud de la mare. Ces derniers contribuent à l'alimentation en eau de toute la population de la région. La mare Redjla est cependant alimentée par les eaux de pluies et par les eaux de la nappe phréatique. Sa profondeur maximale ne dépasse pas 3 mètres et elle occupe une superficie totale avoisinant les 5 h (Rapport, 2007). Une relation directe s'établie entre les eaux de surface et les eaux souterraines ; les eaux de surfaces s'infiltrent et pénètrent dans les sous-sols pour former les eaux souterraines et transportent une quantité considérable de matière et de ce fait affecter la qualité des eaux souterraines (Jackson, 1986).

III.2.2.4 Géologie et pédologie

La lecture de la carte géologie de la wilaya de Jijel, montre que le marais Redjla est situé sur des massifs de roches métamorphiques ; schistes, micaschistes et gneiss. (ressources en eau dans les zones montagneuses de la wilaya de Jijel, janvier 1990).

Le marais de Redjla possède les même caractéristiques géologique par rapport à la région de Bazoul, cette dernière occupe une partie important dans le bassin néogène de Jijel qui caractériser par une dépression comblée de dépôt.

- **La formation quaternaire**

Les sédiments quaternaires sont représentés par des formations continentales détritiques. Il occupe des dépressions les berges des oueds Boukeraa et Nil (terrasse alluviale) et les zones littorale représenté par les dunes ancienne et actuelle.

Du point de vue lithologique, on distingue des apports d'alluvions d'argiles, de limons, de sable fin et grossier, des apports d'alluviales récentes supérieures et des apports d'alluviales récentes inférieures. Le sol est formé par des métaux transportés et déposés par une structure massive, une texture homogène, une grande porosité, une bonne aération superficielle et importantes quantités de matières organiques.

III.2.2.5 Faune et flore

a) Faune: La faune qui vive dans le marais de Redjla sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 03: Check-list l'avifaune aquatique du marais de Merdj-El Ghedir, Redjla, Jijel (Mayache et al., 2008).

N°	Espèces	N°	Espèces
01	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	17	<i>Lemna minor</i> L.
02	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R.Br.	18	<i>Mentha pulegium</i> L.
03	<i>Anagallis arvensis</i> L.	19	<i>Mentha rotundifolia</i> L.
04	<i>Bolboschoenus glaucus</i> (Lam.) S.G. Smith.	20	<i>Oenanthe aquatica</i> L.
05	<i>Carex vulpina</i> L.	21	<i>Paspalum distichum</i> L.
06	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	22	<i>Picris echoides</i> L.
07	<i>Cynodon dactylon</i> L.	23	<i>Polygonum salicifolium</i> L.
08	<i>Cyperus erograstis</i> L.	24	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.
09	<i>Cyperus longus</i> L.	25	<i>Potentilla reptans</i> L.
10	<i>Daucus carota</i> L.	26	<i>Rumex palustris</i> L.
11	<i>Dipsacus fullonum</i> L.	27	<i>Rubus ulmifolius</i>
12	<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.	28	<i>Scirpus palustris</i> L.
13	<i>Eryngium burgatii</i> L.	29	<i>Sparganium erectum</i> L.
14	<i>Fragmites ausrtalis</i>	30	<i>Trifolium repens</i> L.
15	<i>Galactites tomentosa</i> Moench	31	<i>Typha domingensis</i> (Pers.) Poir. ex Steud.
16	<i>Juncus acutus</i> L.	32	<i>Xanthium strumarium</i> L.

III.2.2.6 Aperçu climatique de la région de Jijel

L'étude climatique a pour but essentiel d'analyser les principales caractéristiques du climat, à savoir ; la pluviométrie et la température, le régime des vents et l'humidité. Pour caractériser le climat de notre zone d'étude nous avons tenu compte des données de la station météorologique la plus proche et possédant les même conditions topographique, nous nous somme référés à la station de l'aéroport Achewat, nous avons pris en considération les paramètres les plus déterminants sur une période de 21 ans (1989-2009)

a) Température

Ce paramètre est fonction de l'altitude, de la distance à la mer, et de la position topographique, elle constitue avec les précipitations, l'élément du climat le plus couramment relevé. Elle influe beaucoup sur les conditions générales de développement et de croissance des êtres vivants, les valeurs mensuelles de la température prélevées sur une période de 21 ans sont mentionnées dans le tableau ci au-dessous.

Tableau 05: variation mensuelle de la température (1989-2009).

Mois	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T(C°)	11,4	11,7	13,6	15,1	18,7	22,5	25,2	26,1	23,7	20,3	15,6	12,8

b) Précipitation

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier. L'examen du tableau, ci-dessous, montre que les précipitations les plus élevées sont enregistrées durant l'hiver et que les minimums sont observés en été.

Tableau 06: moyennes mensuelles des précipitations en mm (1989-2009)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
P(mm)	134,2	101,5	82,5	83,6	53,5	15,2	15,2	11,5	60,5	60,5	154,1	197,6

c) Synthèses climatiques

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson nous permet d'évaluer l'intensité et la durée de la période de sécheresse. Pour ce diagramme, les mois de l'année sont représentés sur l'axe des abscisses, il regroupe en même temps la courbe des précipitations représentée en ordonnée à droite en mm selon une échelle double de celle des températures représentées à gauche en °C.

L'analyse de deux paramètres climatiques (précipitations et température) permet de tracer la courbe ombro-thermique de Gausson qui met en évidence deux périodes (voir figure n°) :

- L'une de sécheresse s'étale du mois de Mai au mois de septembre.
- Et l'autre humide : s'étale du mois de septembre au mois de Mai.

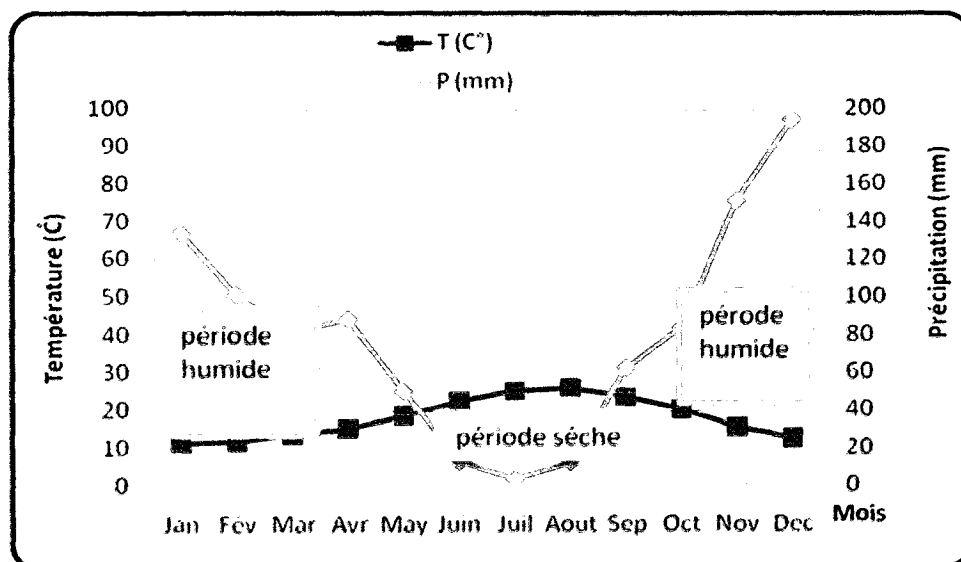
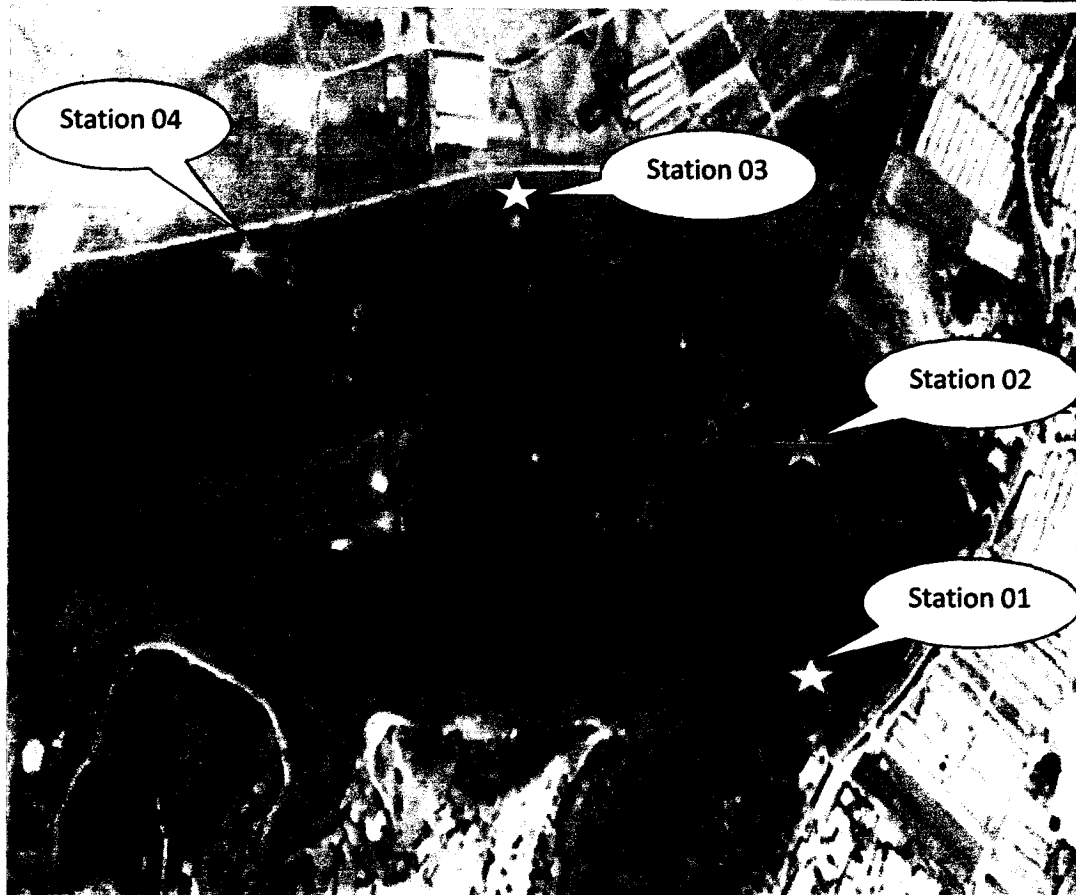


Fig. 03 : Diagramme ombro-thermique de Bagnole et Gausson pour la région de Jijel

III.2.2.7 Justification de choix des stations

Le choix de l'emplacement des prélèvements sont conditionnées essentiellement d'une part le cortège floristique des groupements végétales, et d'autre part selon les diverses sources possible de pollution. En effet quatre stations ont été choisies (fig.04)



(Source : Google)

Fig.4 : Photo Satellite du Territoire d'étude en 2011.

III.2.2.8 Justification de choix des paramètres physico-chimiques

L'intérêt croissant porté à la qualité du sol dans ces multiples aspects et usages, conduit à définir pour les sols agricoles un certains nombres de paramètres physico-chimiques, dans le but de diagnostiquer le degré de pollution et par conséquent les effets néfastes sur l'environnement.

III.3 Méthode d'étude

III.3.1 Méthode d'échantillonnage

Afin d'évaluer le degré de pollution du terrain marécageux par les éléments traces métalliques, nous avons fait des prélèvements au bord du marais Redjla.

❖ Prélèvement

Nos échantillons sont au nombre de 4 prélevés à l'aide d'une terrière de fer à une profondeur de 20 cm. ainsi que nous avons besoin de 1kg pour chaque station.

❖ **Etiquetage**

Les étiquettes de renseignement assureront que les échantillons sont utilisés successivement pour faciliter l'identification des échantillons et également assurer un bon enchaînement pendant la réalisation pratique, elles sont glissées dans le sachet ou à agraffer au-dessus.

❖ **Précaution de prélèvement**

Des précautions ont été prises, lors de notre échantillonnage ;

- Assurer chaque horizon de sol a été prélevé à l'aide d'une terrière de fer utilisé n'induit aucune pollution (bien nettoyé)
- Les échantillons sont placés dans des sacs en plastique de « qualité alimentaire » ; afin d'éviter toute contamination.
- Suivi un ordre croissant pendant l'étiquetage des échantillons, pour faciliter leurs identifications au laboratoire.

Après quoi nous passerons à la partie « préparation des échantillons » au laboratoire en vue de leurs analyses.

III.3.2 Laboratoire

III.3.2.1 La préparation de l'échantillon

La préparation de l'échantillon est nécessaire pour le rendre représentatif à l'analyse. Elle comprend le séchage, le broyage et finalement la séparation de la terre fine par tamisage.

III.3.2.2 Le séchage

Obtention de sol sec est basée sur la référence d'un séchage effectué à l'air, pendant 2 semaines, à température ambiante et à l'abri de la lumière directe du soleil.

III.3.2.3 Broyage

Si les agrégats sont trop difficile à écraser avec les doigts, on peut réduire ces agrégats, dans un mortier en porcelaine, à l'aide d'un pilon avec un mouvement circulaire tout en exerçant une pression modérée; mais avant et durant le broyage, éliminer tous les gros fragments de débris végétaux.

III.3.2.4 Tamisage

Tamiser directement la terre brute sur le tamis (on utilisant un tamis dont des pores est de 2 mm). Ainsi que le passage sur le tamis doit être aussi régulièrement que possible. Il faut imprimer au tamis un mouvement de va-et-vient tournant horizontalement avec des secousses verticales régulières.

III.3.3 Analyses physico-chimiques

Toutes les analyses pédologiques ont été faites sur la fraction < 2 mm après séchage à l'air libre et tamisage.

L'analyse portant sur :

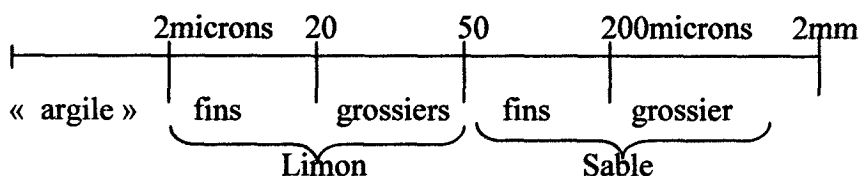
- ❖ La texture des sols
- ❖ Le pH
- ❖ Le calcaire total
- ❖ La matière organique
- ❖ la capacité d'échangé cationique
- ❖ La conductivité électrique.
- ❖ Le dosage des ETM.



III.3.3.1 Granulométrie

Une première approche de la connaissance du sol consistera à classer ces particules élémentaires minérales selon leurs dimensions. Cette séparation constitue l'analyse granulométrique (Duthil J. 1971) Celle-ci à pour but aussi de déterminer le pourcentage des différentes fractions de particules minérales constituant les agrégats.

Les particules minérales peuvent être classées de la façon suivante :



- **Mode opératoire :**

- Peser 10 g de terre fine dans un bécher de 1L.
- Destruction de la matière organique : verser dans le même bécher 50 ml H₂O₂, et porter au bain de sable (chouffer lentement) évaporé partiellement jusqu'à arrêt de l'effervescence.
- Ajouter l'eau oxygénée plusieurs fois et attendre la disparition de la mousse.
- Faire passer la terre dans un flacon d'un litre, Ajouter 10 ml d'une solution dispersante d'hexametaphosphate de sodium et compléter le volume jusqu'à un litre avec de l'eau distillée
- Agiter pendant une heure à l'agitateur rotatif.
- En utilisant la pipette de robinson, effectuer le prélèvement des fractions < 50µm
- Mettre le sable restant dans le tamis, dans bécher de tare connue et sécher dans l'étuve à 105°C. en suite on le tamise à sec à l'aide du tamis de 0,2mm et on pèse le sable grossier resté au tamis (Guy, sans date).

III.3.3.2 Le pH

Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leur degré d'acidité ou de basicité (alcalinité) est exprimé par le pH (Mathieu et Piseltain, 2003).

La mesure du pH au niveau de laboratoire à l'aide d'un pH-mètre (WTW).

Mode opératoire

Peser 10g de terre tamisé (2 mm) dans un bécher de 50 ml et ajouter 25 ml d'eau distillée exactement mesurée, on agite pendant 2 minutes avec agitateur magnétique. La solution est ensuite laissée reposer 2 heures à l'abri de l'air, puis en mesure du pH de la solution à l'aide d'un pH mètre. (Mathieu et Piseltain, 2003).

III.3.3.3 Dosage du calcaire total (calcimètre de Bernard)

Le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide d'un Calcimètre de Bernard.

La teneur en calcaire total permet de préciser et de connaître l'importance de réserves en CaCO_3 du sol

- **Mode opératoire**
 - Etalonnage du calcimètre

- On détermine la relation entre les quantités connues de carbonates et les volumes de CO_2 dégagés.

- préparer une série de 6 piluliers dans lesquels on met respectivement 25, 50, 100, 150, 200, 300mg de CaCO_3 pur.

-Introduire prudemment dans chaque pilulier un tube à hémolyse rempli de 4 ml de HCL (Propipette).

-Fermer le pilulier et déterminer le volume du à l'enfoncement du bouchon après avoir équilibré les niveaux de la solution dans les deux bras du manomètre.

Noter : V_t = volume témoin.

-Agiter le pilulier pour que HCL prenne contact avec CaCO_3 et continuer à remuer jusqu'au moment où le liquide arrête de descendre dans le calcimètre.

-Le volume de gaz se lit après la mise à niveau sous pression atmosphérique (noter V_e : volume de l'échantillon). La vraie quantité de CO_2 dégagé par la réaction est :

$$V \text{ corrigé} = V_e - V_t$$

- Détermination du calcaire dans le sol :

Introduire 1g de terre fine dans un pilulier et suivre le même mode opératoire. Déterminer V_t , V_e , V_c (Mathieu et Piseltain, 2003).

III.3.3.4 Dosage de La matière organique (méthode de Walkly et black)

Le dosage de la matière organique est réalisé à partir du dosage de l'un de ses constituants donc le plus important est le carbone. Dans ce cas il est utilisé celui la méthode de Walkley et Black.

- **Réactifs :**

- Acide sulfurique concentré 95% (d=1.85).
- Solution de bichromates de potassium (0.1666 mole/L).
- Solution de sel de Mohr (0.156mol/L).
- Ferroïne indicateur de Fe (II).

- **Mode opératoire :**

-Introduire 1g de terre tamisée à 2mm dans un erlenmeyer de 500 ml.

-Ajouter 10 ml de dichromate à la burette et 20 ml d'acide sulfurique à l'éprouvette. Agiter pendant 1 minute et laisser reposer durant 30 minutes.

-Ajouter 200 ml d'eau distillée, puis 10 ml d'acide phosphorique à l'aide d'une pipette munie d'une poire propipette. Compléter d'un ml d'indicateur.

-Titrer avec la solution de $FeSO_4$ (dans une burette de 50 ml). Le virage est atteint quand la couleur change du violet au vert.

-Faire en double et un essai à blanc (mêmes opérations en absence du sol).

- **Calcul**

pour calculer le pourcentage du matière organique on applique la formule suivante :

$$\text{Matière organique \%} = \frac{4 \times 1,725(a-b)}{a}$$

a = volume en ml de la solution $FeSO_4$ ajoutée au blanc

b = volume en ml de la solution $FeSO_4$ ajoutée au sol : prendre la moyenne des deux répétitions (Nelson et Sommers, 1982).

III.3.3.5 La capacité d'échange cationique (méthode AFNOR)

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol est la quantité total de cations (ions) que ce sol adsorber sur son complexe et échanger avec la solution. (Mathieu et Piseltain, 2003).

- **Réactifs :**

- Ethanol 95 %.
- H₂SO₄ (0.025 mol / litre).
- Indicateur de TACHIRO.
- Phénol phtaléin.
- Acide borique.
- NaOH.
- Carbonates de calcium CaCO₃ ;
- Oxalates d'ammonium.

- **Mode opératoire :**

Préparer la solution du sol comme suit :

5g de sol, 7.5mg de CaCO₃ et 50ml de la solution d'oxalate d'ammonium, agiter pendant 3heures et laisser reposer 10 à 12 heures dans un réfrigérateur (pour accélérer le travail on peut utiliser la centrifugeuse). Mettre 10 ml de la solution du sol. Ajouter 10ml de la solution de NaOH puis 190 mL d'eau distillée et quelques gouttes de la phénol phtaléine dans un ballon d'un litre, muni d'un chauffe ballon.

Dans le Becher de collection mettre 40 ml d'acide borique +quelque goutte d'indicateur de Tachiro. Dans la colonne de titration on met la solution d'H₂SO₄.

Au moment ou le virage de la couleur du violet vers le vert est effectué, on commence la titration par H₂SO₄ et on marque le volume de H₂SO₄ puis on applique la formule de calcul suivante :

$$T = (V_2 - V_1) \times C \times 50 \times 2 \times 100/M \times V$$

V₂ : volume du témoin.

V₁ : volume de l'échantillon.

C : concentration de H₂SO₄ = 0.025 mol/l.

M: prise d'essai = 5g de sol

V : volume d'essai= 10ml (AFNOR, 1994).

4.3.3.6 La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol. c-à-d. la quantité totale de cations (ions) que se sol peut absorber sur son complexe et échanger avec la solution environnante dans les conditions de pH bien définit.

Elle est mesurée dans l'extrait 1/5 à l'aide d'un conductimètre.

- **Mode opératoire**

Peser 10g de sol tamisé (2 mm) dans un bécher de 100 ml et ajouter 50 ml d'eau distillée, en agite ensuite avec un agitateur magnétique pendant 2minute. Cela permet de mettre en suspension la totalité de l'échantillon et obtenir un équilibre entre la phase solide et la phase liquide. La solution est ensuite laisser reposer 1/2 heure, puis on mesure la conductivité à l'aide d'un conductimètre électronique sur la solution du sol (Mathieu et Piseltain, 2003).

III.3.3.7 Analyse des métaux lourds étudiés

a) Extraction à l'eau régale

L'extraction se fait à l'eau régale (c'est-à-dire un mélange à 3 parts d'HCL concentré avec une part d'HNO₃ concentré). L'ensemble est fixé sous réfrigérant et chauffé dans le rota-vapeur, jusqu'à ébullition pendant 15 mn, après refroidissement et rinçage du réfrigérant par quelques ml d'eau déminéralisée, le contenu est filtré sur filtre en papier avec rinçage par l'eau déminéralisée, et on amène à volume de 50 ml.

Cette méthode permet la détermination de la qualité totale de toute une série d'élément majeur et traces.

b) Dosage

La technique de mesure employée pour connaître la teneur en métaux dans les minéralisats est la Spéctrométrie d'Absorption Atomique (S.A.A) (AFNOR, 1994)

On a utilisé un appareil de marque SHINADZU (AA6200) au niveau de laboratoire de l'université de Jijel.

- **La spectrophotométrie d'absorption atomique a pour avantage d'être :**
 - une analyse qualitative et quantitative
 - sensible
 - rapide, simple, et sélective
 - peu onéreuse.

Tableau 07: Les gammes d'étalons et la longueur d'onde utilisées pour le dosage des métaux lourds

Eléments	Longueur d'onde (nm)	Atomisation	Gamme d'étalonnage (mg/L)
Cd	228.8	Flamme: air/acétylène	0.1, 0.2, 0.4, 1, 2, 5
Cr	357.9	Flamme: air/acétylène	0.2, 0.5, 1, 2, 5
Fe	248.3	Flamme: air/acétylène	0.5, 1, 2, 5
Mn	279.5	Flamme: air/acétylène	0.5, 1, 2, 4
Pb	283.3	Flamme: air/acétylène	0.5, 1, 2, 5, 10, 20
Zn	213.9	Flamme: air/acétylène	0.1, 0.2, 0.4, 1, 2
Cr	357.9	Flamme: air/acétylène	0.2, 0.5, 1, 2, 5

III.3.4 Evaluation statistique

Nos résultats de l'étude sont vérifiés par le calcul de la corrélation entre les concentrations les éléments traces métallique et les paramètres étudiés en calculant le coefficient de corrélation « r ». Si la valeur de r est voisine de zéro la corrélation est faible, plus r tend vers 1 la corrélation est forte, si $r = 1$ la corrélation est parfaite.

IV.1 Résultats

IV.1.1. Texture du sol

L'analyse granulométrique des quatre stations étudiées, nous a permis de donner les valeurs de différentes fractions afin de déterminer la texture du sol du marais de Redjla, ces dernières sont représentées dans le tableau (08).

Tableau 08 : les valeurs des fractions granulométriques.

Stations	Argile %	Limon %	Sable %
Station 1	47.44	37.96	14.6
Station 2	53.44	37.76	8.8
Station 3	76.53	11.87	11.6
Station 4	76.22	11.78	12

La granulométrie fournit donc un renseignement précieux sur la pédogénèse (Duchaufour, 2001), les constituants des sols sont essentiellement le sable, le limon et l'argile. Du calcaire et de l'humus s'y rencontrent presque toujours, mais en petite quantité. Dans une terre bien équilibrée, les éléments solides comprendraient, très schématiquement : 60% de sable, 30% d'argile et de limon, 5% de calcaire et 5% d'humus. Si l'un des éléments dépasse nettement des proportions et rompt l'équilibre, on parlera de sols sablonneux, argileux, calcaires ou humiques. (Paccaud, 1993)

A partir de tableau (08), et parallèlement au triangle des textures qui permet d'une comparaison graphique commode les différents types de sols en fonction de leur granulométrie (Duthil, 1971). On peut classer la nature du site étudié comme suit :

- ❖ Station 1 : argilo-limoneux
- ❖ Station (2, 3 et 4) : argileux.

- ❖ La présence de l'argile dans les quatre stations a trouvé sa justification dans la nature géologique du marais (la couche pontienne).

IV.1.2. Le pH

Les résultats de l'analyse du pH des quatre stations étudiées sont représentés dans le tableau (09) et sous forme graphique dans la figure (05)

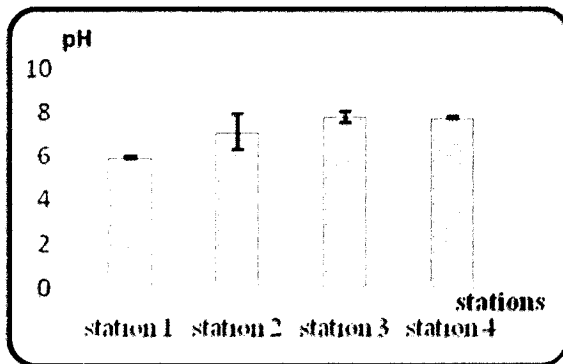


Fig.05 : les variations de pH.

Tableau 09 : les valeurs de pH.

stations	Moyenne
Station 1	5.94 ± 0.08
Station 2	7.12 ± 0.8
Station 3	7.8 ± 0.26
Station 4	7.77 ± 0.005

Les valeurs du pH varient d'une station à une autre, (fig.05), le maximum est enregistré au niveau de la station(3) avec une valeur de (7.8 ± 0.26) , et le minimum est marqué au niveau de la station (1) avec une valeur de $(5,94 \pm 0.08)$ (tableau 09).

La faible acidité enregistré au niveau de la station 1 est peut être due à la contamination des eaux par les rejets de la station lavage de Bousahal.

Le pH à une fonction d'indicateur du milieu et sa mesure conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques (Afri Mehennaoui, 2005). Les ions: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ qui sont au nombre de quatre augmentent les valeurs du pH. Lorsque l'ensemble du complexe est « saturé » par ces ions, le milieu devient neutre ou même légèrement alcalin. La dilution des ions H^+ des solutions en période pluvieuse à tendance d'élever les valeurs du pH (Ducchaufour, 1997). Nos prélèvements sont effectués après une période pluvieuse.

IV.1.3 Calcaire total

Les résultats de l'analyse du calcaire total des 4 stations étudiées sont représentés dans le tableau (10).

Tableau 10 : les valeurs du calcaire total.

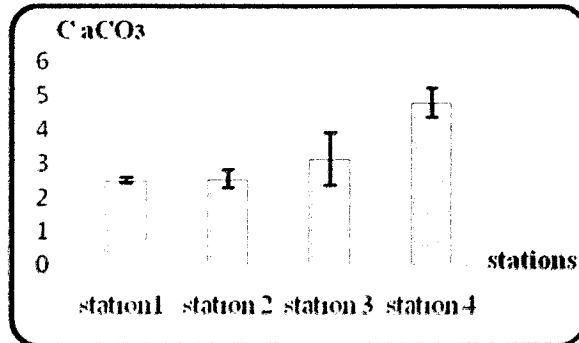


Fig.06 : Les variations du calcaire total.

stations	Moyenne
Station 1	2.51 ± 0.07
Station 2	2.55 ± 0.25
Station 3	3.15 ± 0.78
Station 4	4.81 ± 0.43

Les variations des calcaires totaux variées d'une station à une autre, (fig.06), le maximum est enregistré au niveau de la station (4) avec une valeur de (4.81), et le minimum est marqué au niveau de la station (1) avec une valeur de (2,51) (tableau 10)

Tableau 11 : Classification des sols en fonction de taux du calcaire total (Baize, 1988).

Teneurs en calcaire total en %	Types de sol
< 1	Sol non calcaire
1-5	Sol peu calcaire
5-25	Sol modérément calcaire
25-50	Sol fortement calcaire

Les valeurs moyennes obtenues dans les quatre stations, et par rapport à la classification proposée par (Baize, 1988) le sol de notre site d'étude est considéré comme peu calcaires.

Lorsqu'il y'a dilution de la solution du sol après une pluie ou une irrigation, l'activité des cations bivalents augmente plus vite que celles des monovalents. La dilution favorise donc la fixation des ions Ca^{++} et Mg^{++} . (Gallali, 2004). Ce qui provoque l'augmentation relativement du calcaire.

IV.1.4 La matière organique

Les résultats de l'analyse de la matière organique des 4 stations étudiées sont représentés par la figure (07)

Tableau12 : les valeurs de la matière organique.

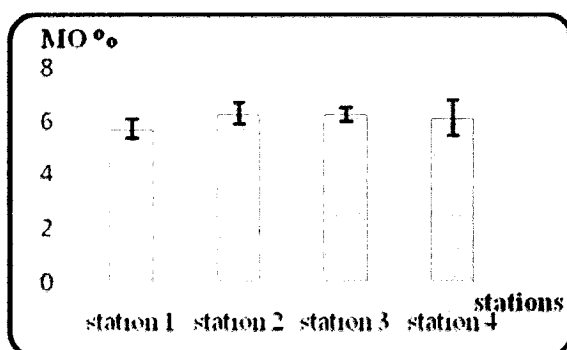


Fig.07 : Les variations de la matière organique.

stations	Moyenne (%)
Station 1	5.71 ± 0.35
Station 2	6.27 ± 0.41
Station 3	6.25 ± 0.26
Station 4	6.10 ± 6.67

Les valeurs de la matière organique sont légèrement variées d'une station à une autre, (tableau.12), le maximum est enregistré au niveau de la station (2) avec une valeur de (6.27), et un minimum marqué au niveau de la station (1) avec une valeur de (5.71).

Tableau 13: Normes d'interprétation de la matière organique d'après (Schaefer, 1975 in Roula, 2005).

Taux de la matière organique (%)	Terre
< 1	Très pauvre
1 à 2	Pauvre
2 à 4	Moyenne
> 4	Riche

D'après ce tableau nous constatons que les valeurs de la matière organique de tous les échantillons analysés sont élevées avec des valeurs variant entre 5.71% à 6.27%.

L'analyse statistique montre une corrélation négativement hautement significative entre la matière organique et certain élément traces métalliques tel que : le Cd et Cr où $R^2 = -0.95$ et Cu où $R^2 = -0.90$.

La corrélation négative entre ces ETM et la MO permet de relever l'influence de ce paramètre sur la répartition des ETM dans le sol de Radjla.

IV.1.5 Capacité d'échange cationique

Les résultats de l'analyse de la capacité d'échange cationique des 4 stations étudiées sont représentés dans le tableau (14).

Tableau 14 : les valeurs de la capacité d'échange cationique

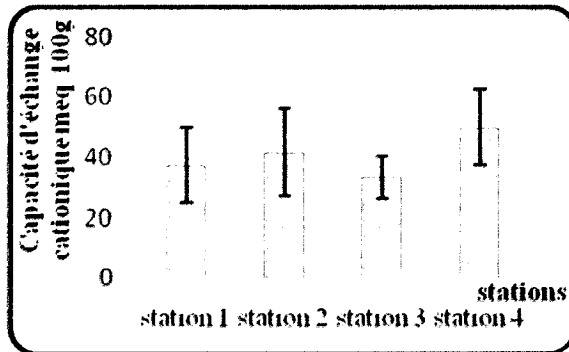


Fig.08 : les variations de la capacité d'échange cationique.

Stations	Moyenne (meq/100g)
Station 1	37.5 ± 12.5
Station 2	41.67 ± 14.43
Station 3	33.33 ± 7.22
Station 4	50 ± 12.5

Les variations de la capacité d'échange cationique variées d'une station à une autre, (fig.08), le maximum est enregistré au niveau de la station (4) avec une valeur de (50 meq/100g), et le minimum est marqué au niveau de la station (1) avec une valeur de (37.5 meq/100g).

La capacité d'échange cationique est intimement liée à la présence d'argiles, de la Mo et aux métaux lourds, elle varie pour les sols normaux (60% de sable, 30% d'argile et de limon, 5% de calcaire et 5% d'humus) de quelques meq à 30 meq/100g de sol. Pour les sols purement argileux, la CEC varie de 40 à 60 meq/100g de sol, et pour les sols très riche en MO varie de 150 à 300 meq/100g de sol (Benhabiles, 2008).

Tableau 15: Classification des sols en fonction de C. E. C (INRA, 1988)

Classes	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevés
(CEC) meq/100g du sol	< 5	5-10	10-15	15-20	>20

Les valeurs de la C E C de tous les échantillons analysés sont très élevés dont elles sont supérieures à 20meq/100g (Tableau 14).

Les constituants minéraux ou organo-minéraux contribuent pour une part importante aux « charges variables » ; la capacité d'échange cationique augmente avec le pH (Baize, 1998)

La capacité d'échange varie avec le pH ; lorsqu'un sol acide est progressivement neutralisé, l'alcalinité favorise la capacité d'absorber de nouvelles quantités de calcium (Ducchaufour, 1997).

Sachant que les valeurs du pH obtenues sont relativement élevées permet de justifier les fortes valeurs enregistrées dans le site.

IV.1.6 La conductivité électrique

Les résultats d'analyse de la conductivité électrique des 4 stations étudiées sont représentés dans le tableau (16).

Tableau 16 : les valeurs de conductivité électrique.

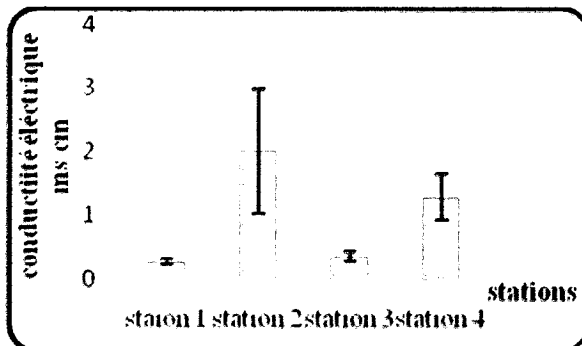


Fig.09: les variations de la conductivité électrique.

Stations	Moyenne (ms/cm)
Station 1	0.272 ± 0.036
Station 2	2.006 ± 0.981
Station 3	0.358 ± 0.076
Station 4	1.292 ± 0.363

Les valeurs de la conductivité électrique variées d'une station à une autre, (fig.09), le maximum est enregistré au niveau de la station (02) avec une valeur de (2.006 ms/cm), et le minimum est marqué au niveau de la station (01) avec une valeur de (0,272 ms/cm).

La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la concentration des sels solubles présents dans l'échantillon.

Tableau 17: échelle de salure européenne, d'après (Gros, 1979).

Extrait	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
CE (Ms/cm)	0 à 0.6	0.6 à 1.2	1.2 à 2.4	2.4 à 06	< 06

Les valeurs moyennes obtenues dans les quatre stations, et par rapport à la norme proposé par (Gros, 1979) notre sol considéré comme sol :

- non salé pour la St 01
- peu salé an niveau du St 03.
- Salé pour la St 02 et St 04.

Une augmentation de corrélation hautement signifie a été enregistrée entre la conductivité électrique et les éléments suivant : Zn, Mn et Cd dont les valeurs de R^2 est de 0.99, 0.75, et -0.86 respectivement (voire la matrice de corrélation en annexe).

IV.1.7 Les métaux lourds

IV.1.7.1 Cadmium

Les résultats de l'analyse par le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) sont représentés par la figure (10).

Tableau 18: les valeurs du cadmium.

stations	Moyenne (ppm)
Station 1	1.79 ± 0.27
Station 2	1.29 ± 0.74
Station 3	1.57 ± 0.89
Station 4	1.43 ± 0.74
norme AFNOR U44-041	2

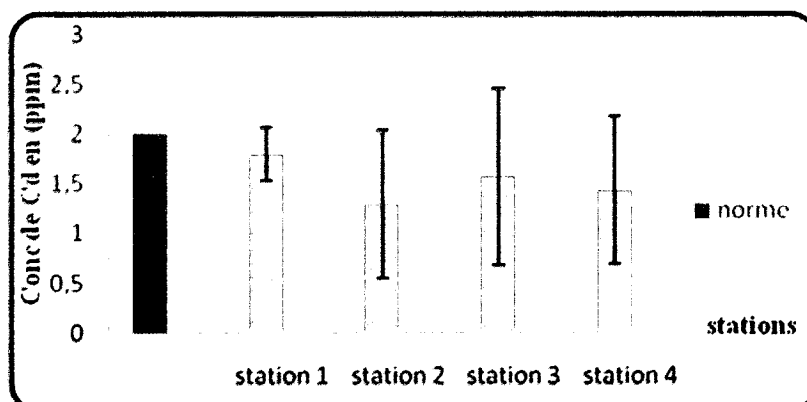


Fig.10 : la teneur en cadmium total.

Les résultats obtenus, montrent que les teneurs du cadmium sont relativement faibles et légèrement variables d'une station à une autre (tableau 18). Les teneurs varient entre 1.29 ppm enregistré dans la station 02 et 1.79 ppm dans 01.

IV.1.7.2 Chrome

L'analyse par le SAA, nous a permis de représenter les teneurs relatifs au Cr du sol de la marie de Redjla, dans le tableau (19) et sous forme graphique dans la figure (11).

Tableau 19 : les valeurs du chrome.

Stations	Moyenne (ppm)
Station 1	53.3 ± 16.46
Station 2	26.14 ± 2.31
Station 3	27.25 ± 2.89
Station 4	22.39 ± 1.82
norme AFNOR U44-041	150

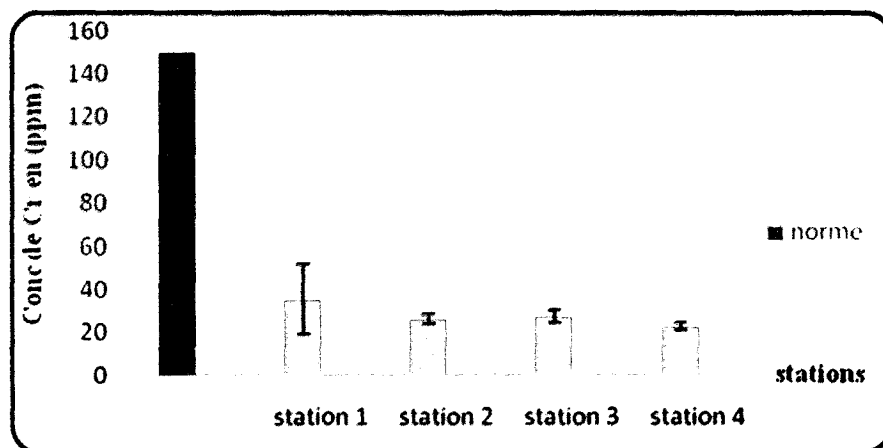


Fig.11 : la teneur en chrome total.

Les teneurs du chrome obtenues au cours de notre étude semblent être variables ; mais ils n'indiquent pas des différences majeures entre les différentes stations (tableau 19). La plus forte teneur (53.3 ppm) en chrome a été enregistrée à la station 01, alors que la plus faible teneur (22.39 ppm) était observée à la station 04 selon la fig. (11). Sur la même figure on observe aussi que la teneur de cet élément est beaucoup plus faible que la valeur du seuil (AFNOR U44-041).

IV.1.7.3 Cuivre

L'analyse par la SAA, nous a permis de représenter les teneurs relatives au Cu du sol de la marie de Redjla, dans le tableau (20) et sous forme graphique dans la figure (12)

Tableau 20 : les valeurs du cuivre.

stations	Moyenne (ppm)
Station 1	42.08 ± 9.1
Station 2	27.92 ± 2.2
Station 3	23.93 ± 0.62
Station 4	21.93 ± 1.04
norme AFNOR U44-041	100

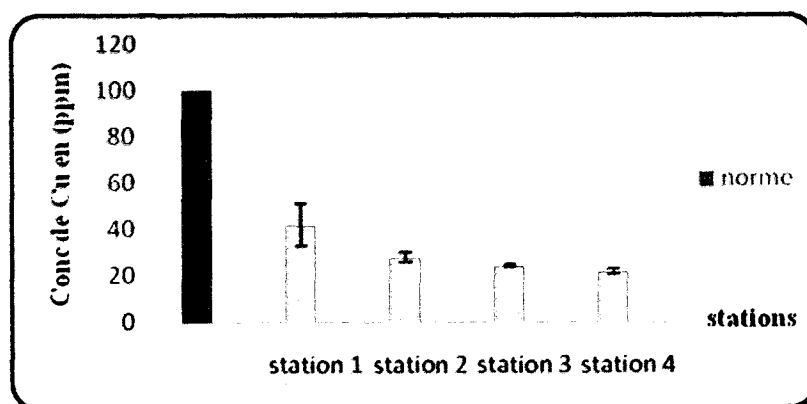


Fig.12: la teneur en cuivre total.

La distribution spatiale des teneurs moyennes de cuivre n'indique pas des différences importantes (tableau 20). Cependant nous remarquons que la station 01 et la station 02 présentent des teneurs en cuivre légèrement élevées par rapport aux autres stations (station 03 et station 04).

IV.1.7.4 Manganèse

L'analyse par la SAA, nous a permis de représenter les teneurs relatives au Mn du sol de la marie de Redjla, dans le tableau (21) et sous forme graphique dans la figure (14).

Tableau 21 : les valeurs du manganèse.

stations	Moyenne (ppm)
Station 1	132.82 ± 39.01
Station 2	2085 ± 720
Station 3	672.65 ± 5.79
Station 4	111.6 ± 6.64
selon Bowen ,1979	850

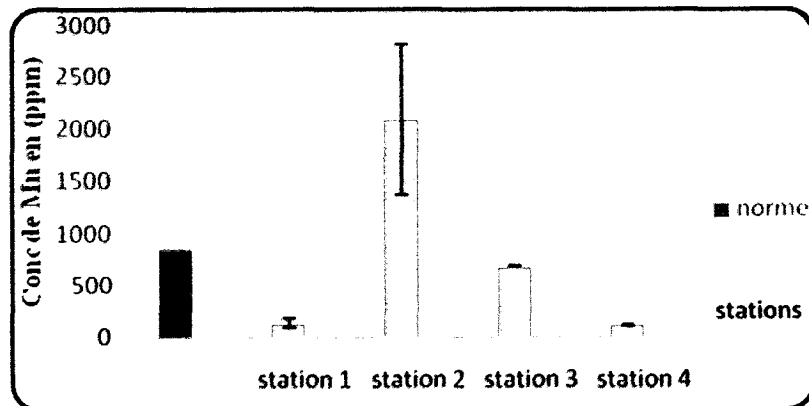


Fig.13 : la teneur en manganèse total.

Les teneurs en manganèse enregistrées dans le sol du marais de Radjla présentent des fluctuations spatiales importantes (tableau 21).

Ces teneurs présentent deux pics (Fig.14):

- Un maximum au niveau de la St 02

- Un minimum au niveau de la St 04

L'étude faite par (Benhabiles, 2008) sur le risque de contamination de sol et d'eaux naturelles par les métaux lourds montré des teneurs en Mn qui oscillent entre (208.92 et 331.21 ppm), ces teneurs sont comparable aux résultats obtenus car on a trouvé que la teneur total du Mn au niveau du marais de Redjla oscille entre (111.6 et 2085 ppm).

IV.1.7.5 Plomb

L'analyse par la SAA, nous a permis de représenter les teneurs relatives au Pb du sol de la marie de Redjla, dans le tableau (22) et sous forme graphique dans la figure (15)

Tableau 22 : les valeurs du plomb.

stations	Moyenne (ppm)
Station 1	42.09 ± 25.62
Station 2	40.07 ± 7.58
Station 3	35.22 ± 0.61
Station 4	23.27 ± 13.79
norme AFNOR U44-041	100

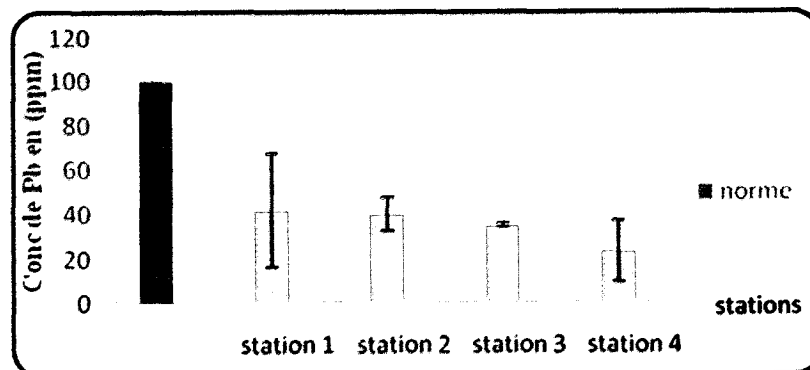


Fig.14 : la teneur total en plomb.

La répartition des teneurs de plomb entre les différentes stations se caractérise par une faible variation (tableau 19), mais nous avons remarqué une légère augmentation au niveau des stations St 01 et St 02 par rapport aux autres stations (St 03, St 04).

IV.1.7.6 Zinc

L'analyse par la SAA, nous a permis de représenter les teneurs relatives au Zn du sol de la marie de Redjla, dans le tableau (23) et sous forme graphique dans la figure (16)

Tableau 23 : les valeurs du Zinc.

stations	Moyenne (ppm)
Station 1	104.85 ± 7.79
Station 2	148.31 ± 73.3
Station 3	93.15 ± 5.54
Station 4	126.73 ± 7.97
norme AFNOR U44-041	300

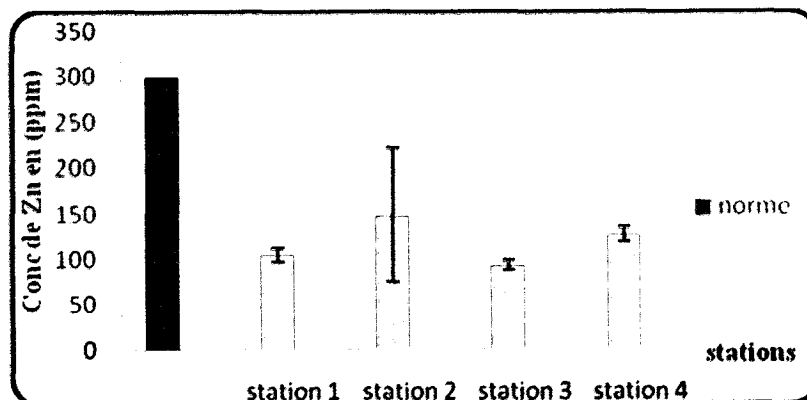


Fig.15 : la teneur total en Zinc.

L'observation de la figure (1) permet de constater que les variations spatiales concernant cet élément sont faibles. Cependant nous observons une légère augmentation dans (St 01, St02, St 04) par rapport à la station 03.

IV.2 Discussion

Les teneurs en ETM dans les sols dépendent des caractères du sol (colinet, 2003). Les horizons très sableux ou très limoneux sont naturellement les plus pauvres en ETM (Afri-Mehennaoui, 2005; Baize, 1997). Albain, 2002 montre que 60% les teneurs des sols en ETM sont principalement stockés dans les fractions fines (sédiments argileux) et seulement 10% dans les fractions grossières.

Une forte corrélation a été enregistrée entre l'argile d'une part et le fer et le manganèse d'une autre part (Albain, 2002).

Achiba et ses collaborateurs (2009), ont également montré que la richesse du sol en matière organique favorise la fixation des métaux lourds par la formation des complexes organométalliques insolubles.

Le Pb est peu ou pas mobile dans les sols, il a une faible association avec la fraction des « matières organiques » comparativement au Cu et dans une moindre mesure au Zn (Colin, 2004., Achiba et al., 2009).

Une forte corrélation positive a été enregistrée entre la conductivité électrique et le Zn ($R^2=0.99$) et entre cette dernière avec le Mn ($R^2=0.75$), alors qu'une forte corrélation négative a été enregistré avec la conductivité électrique et le Cd ($R^2=-0.86$).

Une étude montre une faible corrélation entre le Cr et la conductivité électrique (Colin, 2004) ce qui concorde avec nos résultats où nous avons enregistré une faible corrélation entre la conductivité électrique et le Cr ($R^2=-0.50$).

Le Pb est à 90% d'origine atmosphérique est provient des gaz brûlés émis par certain moteurs. La teneur du sol en Pb est particulièrement élevée le long des autoroutes et dans les parcs urbains (Ramade, 2005). Ce qui explique la teneur en Pb plus ou moins élevé enregistré au niveau de la station 01 qui est la plus proche de la route reliant Taher Bazoul.

Deux sources potentielles de la pollution par le Mn ; les engrais phosphatés d'une part et les retombées atmosphériques d'autre part (Ramade, 2005). Des teneurs faibles ont été enregistrées au niveau de toutes les stations exceptionnellement à la station 02 où nous avons enregistré des

teneurs plus ou moins élevé qui peut être due au lessivage des engrais utilisés dans l'agriculture locale.

L'application du compost d'ailleurs augmente la quantité de Zn liée au Fe et au manganèse (Ablin, 2002).

Une étude sur l'évaluation biotoxicologique du risque de contamination de sols et d'eaux naturelles par les métaux lourds faite par Benhabiles (2008) a enregistré des teneurs en Zn qui oscillent entre 123.08 ppm et 224.54ppm. Mais dans le cas du marais de Redjla, les valeurs enregistrées varient entre 93.15 et 126.73 ppm.

En fin, dans les milieux saturés et non acides, l'absorption par la plante reste limitée par rapport à la quantité stockée dans le sol, au moins lorsqu'un certain seuil n'est pas dépassé ; par ailleurs, la faible mobilité des éléments lourds empêche généralement leur entraînement par les eaux de drainage (Ducchaufour, 1997).

Cette annonce nous a informé que les faibles teneurs enregistrées en métaux lourds dans notre site d'étude ne peut pas être justifié ni par la phytobiodisponibilité, ni par l'infiltration dans les nappes phréatiques, En revanche, elle peut être interpréter par l'absence de la pollution et même s'il y a des diverses activités agricoles (pollution par les engrais) et domestique (eaux usées, rejets urbains) la pollution n'a pas encore atteindre des niveaux critiques.

Conclusion

La pollution peut avoir des effets irréversibles sur les écosystèmes avec la disparition d'espèces, la contamination de la chaîne trophique.

Les éléments métalliques sont des constituants naturels de l'écorce terrestre qui peuvent se disséminer naturellement dans le milieu terrestre. Certains écosystèmes peuvent donc être naturellement très riches en éléments métalliques. Sous l'effet de la pression des activités anthropiques (activités industrielles, agricoles), la contamination métallique des milieux continentaux peut augmenter significativement. Au-delà d'une certaine concentration dans le milieu, les métaux ont des effets néfastes. L'évaluation de ces effets doit tenir compte des particularités associées aux métaux.

L'évaluation du niveau de contamination de la mare de Radjla par les métaux lourds, ne permet de résumer la situation, qu'après une série d'analyse physico-chimique effectuées (texture des sols, pH, calcaire total, matière organique, capacité d'échangé cationique, conductivité électrique, calcaire total). Et également le dosage des ETM.

Les concentrations totales des métaux lourds, reflètent des différences normales dans les propriétés de sol et le degré de contamination, dans le sol de notre secteur d'étude la faible abondance des métaux lourds ne peut pas être justifier ni par la phytobiodisponibilité, ni par l'infiltration dans les nappes phréatiques, En revanche, elle peut être interpréter par l'absence de différents formes de la pollution, car le site est vierge et même s'il y a des divers activités agricoles (ex : les engrais) la pollution n'as pas atteindre des niveaux critiques à l'exception de la station 02 les résultats obtenus concernant le manganèse dépassent la norme proposée par Bowen.

En perspective il serait plus important:

- Réaliser des contrôles physico-chimiques spatiotemporels réguliers du site afin de mieux évaluer l'impact de la pollution agricole et urbaine (pesticides et métaux lourds).
- Essayer de mieux valoriser les résultats physico-chimiques obtenus par une étude sur les bioindicateurs de la pollution des sols à savoir les végétaux et les animaux.



Références bibliographiques

- 1) **Ablin F.**, 2002. Rôle des activités lombriciennes sur la redistribution des éléments trace
- 2) **Achiba W., Gabteni B., Lakhdar A., Gijs Du Laing C., Marc Verloo C., Jedidi A., Gallali T.**, 2009. Effets d'application de cinq ans de compost municipal de déchets solides sur la distribution et mobilité des métaux lourds dans un sol calcaire tunisien, Tunisie.
- 3) **AFNOR.**, 1994. Qualité des sols. Recueil des normes françaises. 3rdcdn AFNOR, paris, 534p.
- 4) **Afri-Mehennaoui F.**, 2005. Evaluation du niveau de contamination par les métaux lourds de différents compartiments d'un écosystème aquatique. Thèse doctorat, université de Constantine.
- 5) **Anonyme.**, La cité administratif (direction de l'environnement) wilaya de Jijel, 2007.
- 6) **Aubertot J.N., Barbier J.M., Capentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Voltz M.**, 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Édition Quae, INRA.
- 7) **Baize D., Tercé M.**, 2002. Les éléments traces métalliques dans les sols. INRA, Paris, pp 56-83.
- 8) **Baize D., Girard M.C.**, 1998. Association française pour l'étude du sol. Éditions Quæ, France
- 9) **Baize. D** ; 1988 ; Guide des analyses courantes en pédologie ; INRA, France imprimé par Jouve, Paris, 172p.
- 10) **Baize D.**, 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols de France. Référence et stratégie d'interprétation, Ed, INRA, Paris.
- 11) **Barbaste.**, 2005. Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide cas de stabilisation des sols contaminés et déchets industrielles. *Vertigo la revue de science de l'environnement*, Vol 07, pp 1- 10.
- 12) **Barbault R.**, 2002. Ecologie général: structure et fonctionnement de la biosphère. 5^{eme} édition, Dunond, Paris.
- 13) **Beliefert C., Perraud R.**, 2003. Chimie de l'environnement Air, Eau, sol. Édition Droupe De Beoek. 343-391p.
- 14) **Beliefert C., Perraud R.**, 2009. Chimie de l'environnement Air, Eau, sol, Déchets. 2^{eme} édition, Droupe De Beoek.377p.
- 15) **Benhabiles K.**, 2008. Evaluation bio toxicologique du risque de contamination de sols et d'eaux naturelles par les métaux lourds susceptibles d'être présent dans des effluents de tannerie. Thèse doctorat ; Jijel.

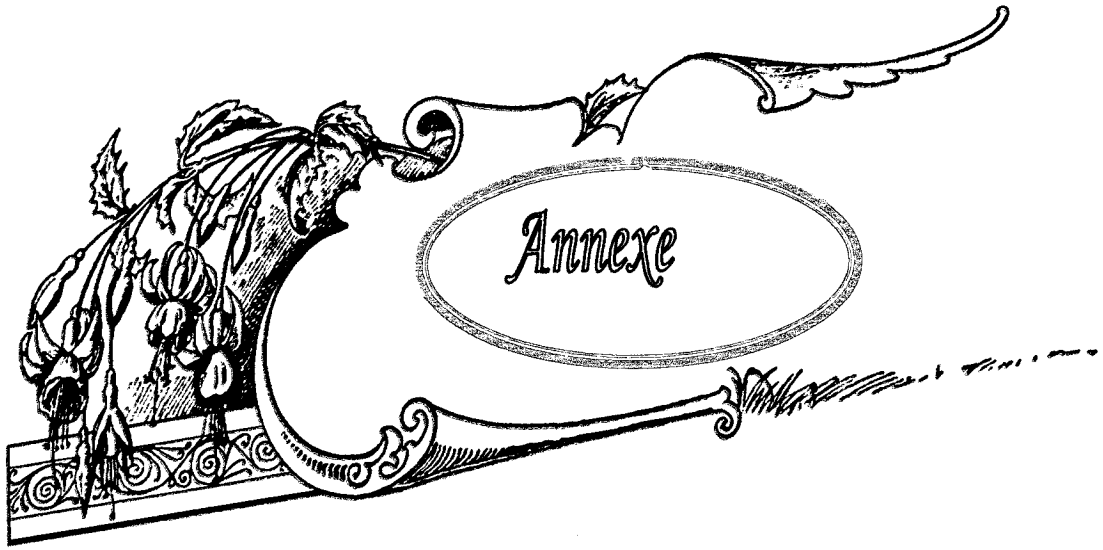
- 16) **Bikaert E.**, 2004. Gestion des chlorures de métaux lourds : stabilisation d'un phosphate d'étain dans un vitrifiat silicaté. thèse de doctorat, Madrid.
- 17) **Bocard C.**, 2006. Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures. Edition technip, Paris.10-11 P.
- 18) **Bowen H.J.**; 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London.
- 19) **Brekhovskikh V.F., Volkova Z.V., Kirpichnikova N.V., Kocharyan A.G., Fedorova L.P.**, 2001. Peculiarities of Heavy Metals Accumulation in the Bottom Sediments and Higher Aquatic Plants of the Ivan'kovo Reservoir. *Water Resources. Vol. 28, No. 4,399-406.*
- 20) **Bur T.**, 2008. Impact anthropique sur les éléments traces métalliques dans les sols agricoles de Midi-Pyrenees. Implication en termes de limites et de charges critiques. Thèse de doctorat, l'université de Toulouse, p283.
- 21) **Burnol A., Duro L., Grive M.**, 2006. Eléments traces métalliques, guide méthodologique, recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines. Rapport d'étude, INERIS.
- 22) **Casas S.**, 2005. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zi) chez la moule, mytilus Galloprovincialis, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat, Université du Sud Toulon Var.
- 23) **Centre expertise en analyse environnemental du Québec.**, 2003. Méthode d'analyse : détermination des métaux et du phosphore dans les sédiments.
- 24) **Colin S.M.**, 2004. Localisation, distribution et mobilité des ETM dans des sols développés sur roches basaltiques en climat tempéré. Thèse de doctorat, l'Université de Limoges.
- 25) **Colinet G.**, 2003. Eléments traces métalliques dans les sols : contribution a la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse belge. Thèse doctorat, université de Gembloux.
- 26) **Coursier K., Albair R., Auguste A.**, 1986. Chimie organique. Édition EDP, Science ADME.
- 27) **Damien A.**, 2009. Guide de traitement des déchets. Dunod, paris, p88-89.
- 28) **Dère C.**, 2006. Mobilité et redistribution a long terme des éléments traces métalliques exogènes dans les sols. Thèse doctorat, paris, INRA.

- 29) **Di Binedetto M.**, 1997. Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. École de mine, sainte Etienne.
- 30) **Duchaufour P.**, 1997. Abrégé de pédologie Sol, Végétation, Environnement. 5^{ème} édition, Masson, Paris, 291p.
- 31) **Duchaufour P.**, 2001. Introduction à la science du sol. 6^{ème} édition ; Dunod, Paris, p9-303.
- 32) **Duthil J.**, 1971. Elément d'écologie et d'agronomie. Tome (1) : Connaissance du milieu ; Édition J-b, Ballière, Paris.
- 33) **Duthil J.**, 1973. Elément d'écologie et d'agronomie. Tome 2. Exploitation et amélioration du milieu, Édition J.b, Ballière, Paris.
- 34) **Duthil J.**, 1973. Elément d'écologie et d'agronomie. Tome 3, Édition J.b, Ballière, Paris, p894-499
- 35) **Fao., Ifa., Imphos.**, 2003. Les engrais et leur application : Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole. 4^{ème} édition, Rabate.
- 36) **Gallali T.**, 2004. Clés du sol. Chapitre VII : Les phénomènes d'échange. Centre de publication universitaire.
- 37) **Girard M.C., Walter C., Remy J.C., Morel J.L.**, 2005. Sol et environnement. Dunond, Paris.
- 38) **Gobat J.M., Aragno M., Matthey W.**, 1995. Le sol vivant. Jura, le suisse, P344-346.
- 39) **Gomez G., Baos R., Gomara B., jiménez B., Gonzalez M.j.**, 2004. Influence of a mine tailing accident near donana national park (spain) on heavy metals and arsenic accumulation in 14 species of waterfowl, Springer science.
- 40) **Gros.**, 1979. Engrais guide pratique de la fertilisation. 7^{ème} Ed. Maison Rustique, p 533.
- 41) **Guy A.**, analyse chimique des sols. Edition France.
- Jackson R.E.**, 1986. Pollution et protection des aquifères. Édition anglaise : ISBN, Unesco, pp 325- 326.
- 42) **Jeannot R., Lemièrre B., chiron S.**, 2001. Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués. Édition BRGM, 76P.

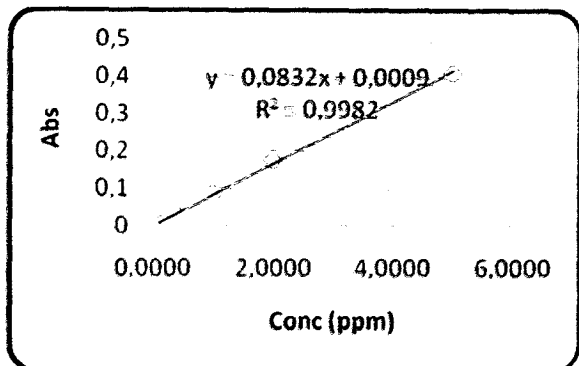
- 43) **Kadem D.**, 2005. Évaluation et comportement des métaux lourds (Cd-Cr-Cu-ni-Pb-Zn et Mn) dans les sols. Vocation agricole et à végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique. Thèse de doctorat en écologie, université du Constantine, p105.
- 44) **Kim j, Koo T.H.**, 2007. The use of feathers to monitor heavy metal contamination in herons. Arch environs contam toxicol, Springer science.
- 45) **Koller E., Mowelle L.**, 2004. Traitement des pollutions industrielles. Dunod, Paris.
- 46) **Laborde P.**, 1994. Les espaces urbains dans le monde. Nathan, p168.
- 47) **Landis W.G., HO Yu M.**, 1999. Introduction to environmental toxicology: impacts of chemicals upon ecological systems. CRC press LLC.
- 48) **Laurent C., Feid C., Laurent F.**, 2005. Contamination des sols : Transferts des sols vers les animaux. ADEME édition, Courtaboeuf.
- 49) **Le Clech B.**, 1998. Environnement et agriculture. Edition synthèse agricole. Bordeaux.
- 50) **LE Goff F., Bonnomet V.**, 2004. Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique, 20, avenue de Ségur – 75302 PARIS.
- 51) **Lemière B., Seguin J., Leguern C., Guyonnet D.**, 2001. Guide sur le comportement des polluants dans le sol et les nappes. Document du BRGM. Edition BRGM, France.
- 52) **Loi canadienne sur la protection de l'environnement.** 1994. Le chrome et ses composés ; Ministre des Approvisionnements et Services, Canada.
- 53) **Mackenzi A., Ball A.S.**, 2000. Ecologie. Berti édition, Paris, p332-342.
- 54) **Martine A., Simon R.**, 2004. Complexation of metals with humic materials in natural waters. Estuar, Coast. Mar; *Sc*, vol 6, pp 387- 408.
- 56) **Mathieu., Piseltain.**, 2003. Analyse chimique des sols : méthode choisies, Lavoisier, France, p214.
- 57) **Miquel G.**, 2001. Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et sur la santé. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.
- 58) **Mayache B., Houhamdi M., Samraoui B.**, 2008. Ecologie des sarcelles d'hiver *anes Crecca Crecca L.* Hivernants dans l'éco-complexe de zones humides de Jijel (nord-est de L'Algérie). Publication European Journal of scientific research, 105-106pp.

- 59) Nelson D.W., Sommer L., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter; in methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties agronomy. Page AL (cd). Monograph n° 9, soil science society of American Madison, USA, 539-579.
- 60) Nield T., 2007. Le sol : épiderme vivant de la terre. Earth science for society foundation, legède, Pays-Bas.
- 61) ONM., (1989/2009). Office national de météorologie. Station de Jijel-Achwat.
- 62) Ouali M.S., 2008. Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. 2^{ème} édition, Office des publications universitaire, Alger.
- 63) Ould kankou A., 2004. Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie. Thèse doctorat, l'université de limoges.
- 64) Paccaud O., 1993. A la découverte de la nature. 2^{ème} édition, Neuchâtel N, Suisse, P52.
- 65) Pédro G., Monolou J.C., 2004. Du sol à la plante : trajet et fonctions du fer. Séance commune Académie d'agriculture de France, académie des sciences, Paris.
- 66) Pédro G., 2007. Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux. Académie des sciences, EDP sciences, France.
- 67) Pichard A., 2005. Le plomb et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS.
- 68) Pichard A., 2005. Chrome et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, pp 1- 80.
- 69) Pichard A., 2005. Cuivre et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS.
- 70) Pichard A., 2005. Le Zinc et ces dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS.
- 71) Pichard A., 2005. Le Cadmium et ses dérivés. Fiches toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Edition INERIS.
- 72) Public Health Statement., 1990. Monographie des polluants, ATSDR.
- 73) Rabiati A., Tasneem A.A., 2007. Effet des métaux lourds sur le sol microbienne communautaire et mungo germination haricots. doctorat de microbiologie, Karachi 75270, Pakistan.
- 74) Ramade F., 1981. Ecologie des ressources naturelles, Masson, Paris.

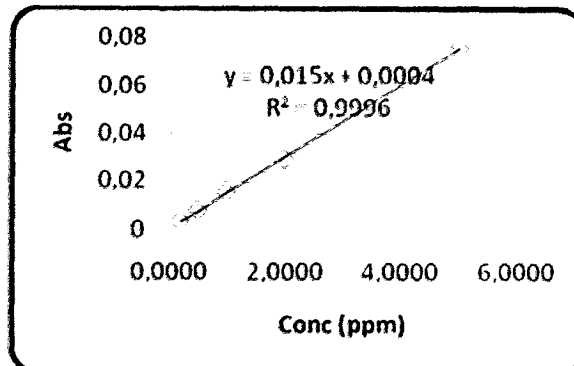
- 75) **Ramade F.**, 1995. *Éléments d'écologie : écologie appliquée*. 5^{ème} édition, Ediscience international, paris.
- 76) **Ramade F.**, 1998. *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau*. Ediscience international, paris, pp432-438.
- 77) **Ramade F.**, 2005. *Éléments d'écologie : écologie appliquée*. 6^{ème} édition, Dunod, paris.
- 78) **Ramade F.**, 2000. *Dictionnaire encyclopédique des pollutions, les polluants : de l'environnement à l'homme*, Ediscience international, paris
- 79) **Roula S.E.**, 2005. *Caractérisation physico-chimiques et valorisation des boues résiduaires urbaines pour la confection des substrats de culture en pépinière hors sol*. Thèse Mage, Agro, Université de Batna.
- 80) **Schaub A., Feix I.**, 2005. *Contamination des sols vers les plantes*. EDP Sciences, ADEM, pp10-15.
- 81) **Secchi M.**, 2008. *Devenir du plomb dans le système sol-plante : Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate)*. Thèse de doctorat de l'institut nationale, université de Toulouse, p191.
- 82) **Soltner D.**, 1986. *Les bases de la production végétale : Le sol, Le climat, La plante*. 14^{ème} édition, Collection science et techniques agricoles, 404p.
- 83) **Song W.Y., Sohn E.J., Martinoia E., Lee K.J., Yang Y.Y., Jasinski M., Forestier C., Hwang I., Lee Y.**, 2003. Engineering tolerance and accumulation of lead and cadmium in transgenic plants. In *Nat. Biotechnol*, 21, 8, 914-919.
- 84) **Tremel-Schaub A., Feix I.**, 2005. *Contamination des sols : transferts des sols vers les plantes*. EDP Science, France.
- 85) **Verloo M.**, 2003. *Les métaux lourds dans les denrées alimentaires : Origine et évolution des teneurs*. Institut Danone, Belgique.
- 86) **Wright A., Welbourn P.**, 2002. *Environmental toxicology*, Cambridge university press.



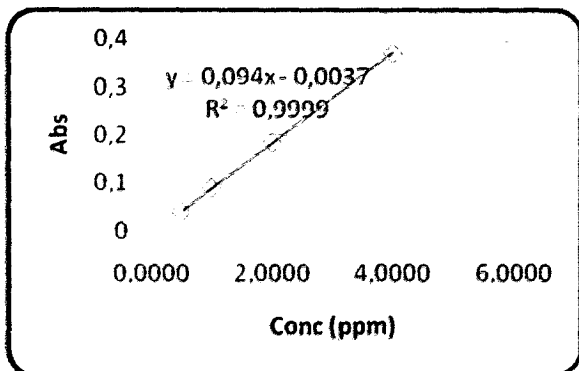
Annexe I : les courbes d'étalonnage.



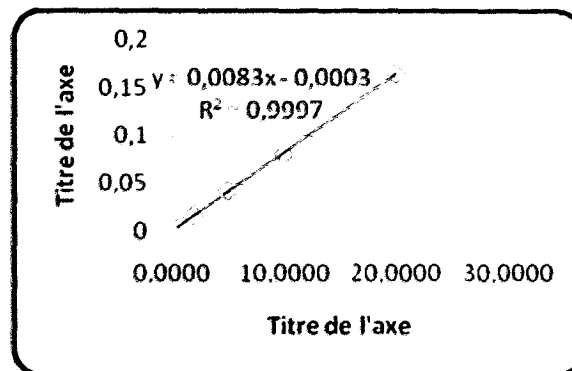
1) Courbe d'étalonnage de Cd



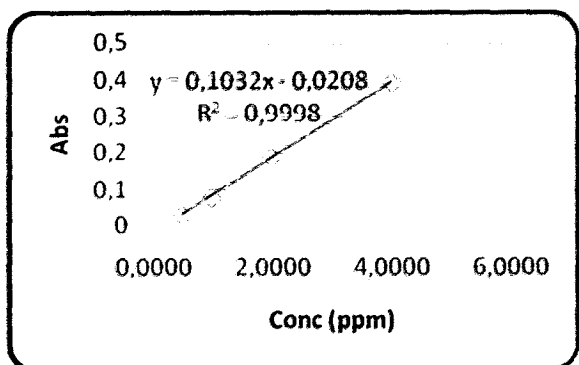
2) Courbe d'étalonnage de Cr



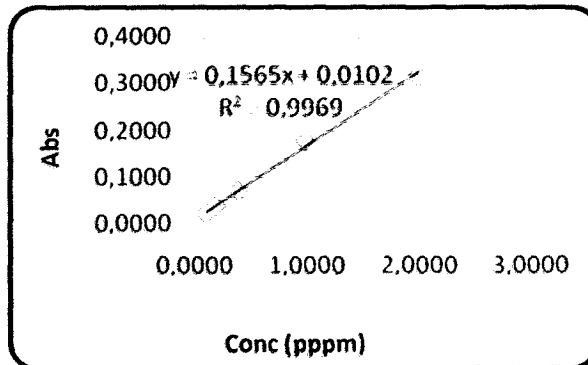
3) Courbe d'étalonnage de Cu



4) Courbe d'étalonnage de Pb



5) Courbe d'étalonnage de Mn



6) Courbe d'étalonnage de Mn

Annexe II : matrice de corrélation

	PH	CE	MO	CT	CEC	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Zn
PH	1.00											
CE	0.15	1.00										
MO	0.83	0.67	1.00									
CT	0.24	-0.86	-0.28	1.00								
CEC	0.39	-0.48	0.07	0.85	1.00							
Cd	-0.62	-0.86	-0.95	0.51	0.10	1.00						
Cr	-0.91	-0.50	-0.95	0.18	0.00	0.82	1.00					
Cu	-0.99	-0.28	-0.90	-0.12	-0.31	0.72	0.95	1.00				
Fe	0.53	0.28	0.59	0.24	0.71	-0.57	-0.38	-0.53	1.00			
Pb	-0.51	0.43	-0.10	-0.35	0.03	-0.16	0.42	0.45	0.41	1.00		
Mn	0.10	0.75	0.53	-0.42	0.12	-0.71	-0.22	-0.18	0.75	0.79	1.00	
Zn	0.08	0.99	0.61	-0.92	-0.60	-0.80	-0.46	-0.21	0.14	0.38	0.66	1.00

8) Matrice de corrélation entre: les teneurs en métaux lourds (ppm), pH, CE, MO, CEC et CaCO₃ dans les quatre stations.

<p>Réalisé par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Derbal Ali</i> • <i>Sayoud Billal</i> 	<p>Jury :</p> <p>Président : Mlle. Chabeb S. Examineur : Mlle. Balli N. Encadreur : Mr. Mayache B.</p>
<p style="text-align: center;">Thème</p> <p style="text-align: center;">EVALUATION DE LA POLLUTION DES SOLS PAR LES METAUX LOURDS DANS LE MARAIS DE REDJLA, TAHER-JIJEL.</p>	
<p style="text-align: center;">Résumé</p> <p>Dans ce travail nous avons mené une étude physicochimique, dont l'objectif est d'arriver à une connaissance approfondie du milieu, qui permettra également à l'évaluation de la contamination des sols du marais de Redjla par les métaux lourds. Nos investigations ont porté sur les principaux d'entre eux : cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), manganèse (Mn), plomb (Pb) et le zinc (Zn). Une campagne de prélèvement a été effectuée durant la période de (03- Avril 2011) au niveau de quatre stations. Les échantillons des sols prélevés ont été soumis à une caractérisation physico-chimique (pH, Mo, CaCO₃, CEC, Granulométrie) et à un dosage des ETM qui ils sont en question.</p> <p>Les résultats obtenus ont permis la mise en évidence que la pollution n'a pas atteint des niveaux critiques ainsi que les valeurs des éléments dosés restent inférieures aux normes internationales à l'exception d'un résultat obtenu concernant le manganèse.</p> <p>Mots clés : Marais, métaux lourds, pollution du sol, CEC, calcaire total, Redjla, pH du sol.</p>	
<p style="text-align: center;">Abstract</p> <p>In order to evaluate level of pollution of the grounds in the vicinity of the marsh of Redjla, a study was carried out. A partner of taking away was carried out the 03 - April 2011. Physicochemical parameters were measured; pH, MO, CaCO₃, CEC, Granulometry, as well as the proportioning of certain element metal traces to knowing; Cd, Pb, Cr, ZN, Mn, and Cu at summer carried out by spectrophotometry of atomic absorption.</p> <p>The results obtained have allows the description which pollution aces to reach not yet of the critical levels as well as the values of the proportioned elements remain generally lower than the international standards except for Mn.</p> <p>Key words: Marsh, heavy metals, pollution of the grounds, CEC, total limestone, Redjla, pH of the ground.</p>	
<p style="text-align: center;">ملخص</p> <p>في هذه المذكرة قمنا بدراسة فيزيوكيميائية بهدف الوصول إلى معرفة معمقة عن الوسط و التي تسمح لنا بتقييم مدى تلوث التربة الخاصة بسبخة الرجلة بالمعادن الثقيلة, في هذا الصدد ركزنا أكثر على الأساسية منها (الكاديوم, الكروم, النحاس المغنزيوم, الرصاص, الزنك) قمنا بخرجة ميدانية في يوم 2011/04/03. لأخذ العينات من أربعة أماكن مختلفة قمنا بإخضاع عينات التربة إلى تحاليل فيزيوكيميائية (درجة الحموضة, المادة العضوية, نسبة الحبيبات) إضافة معالجة المعادن المذكورة سابقاً.</p> <p>النتائج المحصل عليها أثبتت بان التلوث لم يصل إلى مستويات حرجة و القيم المحصل عليها تبقى دون المعايير العالمية, باستثناء معدن المغنزيوم.</p> <p>الكلمات المفتاحية : السبخة, المعادن الثقيلة, تلوث التربة, سعة التبادل لايوني, الكلس الإجمالي, الرجلة, درجة حموضة التربة.</p>	