



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

**Département :** Biologie et Ecologie. ..... **قسم :**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Biologiques

**Spécialité :** Gestion durable des écosystèmes et protection de l'environnement

**Option :** Pollution des écosystèmes et Ecotoxicologie.

Intitulé :

---

**Utilisation des arbres des bords de route comme indicateurs  
de pollution par le plomb : cas du *Cupressus fastigiata*.**

---

**Présenté et soutenu par :** MAIRIF ASMA KHADIDJA

**Jury d'évaluation :**

**Président du jury :** AFRI-MEHENNAOUI F-Z MCA - UFM Constantine

**Rapporteur :** SAHLI L MCA - UFM Constantine

**Examineur :** BAZRI K.E.D MCA - UFM Constantine

*Année universitaire  
2015 - 2016*

*A mon père,*

*A ma mère*

## *Dédicace*

De tout mon cœur je dédie ce travail :

A la bougie de mon destin, mon cher père « Mansour » pour son encouragement.

A ma chère mère « Nadia » ma source de tendresse, pour ses conseils et ses sacrifices.

A mon mari « Mehdi » pour sa compréhension, sa patience et son soutien moral.

A mes chères sœurs, « Roumaïssa » pour leur aide depuis mon enfance, et Anfel (Koukita).

A mes chers frères : Abdelbassette (Aboudi), et Mohamed Islam (Simou).

A toute ma belle famille et surtout à mon beau père « Cherif » et ma belle mère « Fatima » pour leurs encouragements.

A mes chères amies : Hiba, Roumaïssa et Abir.

A tous mes collègues

## ***Remerciements***

En terminant notre mémoire de fin d'étude, il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements à ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à élaborer ce travail.

Nous remercions en particulier notre encadreur :

**M<sup>elle</sup> SAHLI. L** : d'avoir accepté de diriger le travail et pour nous avoir consacré de son précieux temps afin de nous guider dans la réalisation des travaux pratiques de notre mémoire, nous accompagné lors de nos sorties sur terrain et nous aider dans l'interprétation de nos résultats et la rédaction de notre mémoire. Et également pour ne pas avoir hésité à mettre à notre disposition tous les moyens, matériels du laboratoire, nécessaire à la réalisation pratique de ce travail.

Nos plus vifs remerciement vont à **M<sup>me</sup> AFRI-MEHENAOUI. F.Z** d'avoir accepté de présider notre jury.

Nous remercions **M<sup>r</sup> BAZRI. K.E.D** pour sa patience, sa sagesse et pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Je tiens à remercier **M<sup>me</sup> Soltani A** ingénieur au laboratoire de Biologie et Environnement (Université Mentouri, Constantine) pour son soutien moral et son aide.

Mes remerciements et reconnaissance à ma famille, mes amis (e) et collègues, aussi que ceux qui ont contribué de façon directe ou indirecte à la réalisation de ce mémoire et qui n'ont pas été cités je leurs exprime mes sincères reconnaissances.

## **Résumé :**

La pollution atmosphérique de proximité par le plomb est un sujet de préoccupation récent. De nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des végétaux, comme bio-indicateurs et bio-accumulateurs de la pollution plombique. Ces derniers sont considérés comme des outils de grand intérêt pour la biosurveillance.

Dans ce contexte, quatre points de prélèvements ont été retenus le long d'un axe routier à circulation intense ; il s'agit de la route nationale N°03 reliant B'kira à Constantine. Plusieurs prélèvements de sols et de *Cupressus fastigiata* ont été réalisés le long de cet axe routier. En parallèle, des prélèvements ont été effectués dans une zone témoin éloignée de toute source de contamination, il s'agit de l'arboretum Draa Naga situé à Djbel el Ouahch. Les prélèvements ont concerné le sol (0-20 cm), le feuillage et l'écorce de *Cupressus fastigiata*. Plusieurs paramètres ont été déterminés : pH, conductivité électrique, calcaire total, matière organique et teneurs en plomb pour le sol. Pour la végétation, nous avons dosés plusieurs marqueurs biochimiques révélateurs de stress (chlorophylles, proline et sucres solubles), en plus de la quantification des teneurs en plomb dans les feuilles lavées, non lavées et l'écorce de l'espèce en question.

Les résultats ont révélé un enrichissement en plomb relativement important. Les teneurs dans le sol dépassent largement les concentrations naturelles. Le Cyprès fastigié semble être un bon bioindicateur de la contamination par le plomb. Les teneurs enregistrent l'ordre d'abondance suivant : écorce > feuilles non lavées > feuilles lavées. Des perturbations ont également été enregistrées pour les marqueurs biochimiques. En effet, les teneurs en proline enregistrées en milieu anthropisé sont largement supérieures à celles de la zone témoin.

**Mots clés :** plomb, sol, *Cupressus fastigiata*, marqueurs biochimiques.

## Abstract

The near air pollution by the lead is a recent subject of preoccupation. Many researches were performed on the use of vegetables, as bio-indicators and bio-accumulators of lead pollution. These last are considered to be tool of big interest for bio-surveillance.

In this context, four sites of samples were kept along road axle with intense circulation; it about the highway N°03 linking up B'kira to Constantine. Several samples of soil and of *cupressus fastigiata* were accomplished along of this road axle. At the same time samples were performed in a zone witness moved away from any source of pollution, it's about the Draa Naga in Djbel El Ouahch arboretum. Samples concerned the soil, the foliage and bark of *cupressus fastigiata*. Several parameters were determinate: pH, electrical conductivity, calcareous complete, organic matter, and leaden contents for the soil. For vegetation, we dosed several revealing biochemical markers of stress (chlorophyll, proline, and soluble sugars), besides the quantification of leaden contents in the unwashed, washed leaves and bark of the vegetables.

Results revealed a relatively important leaden enrichment. Contents in the soil exceed natural concentration widely. The fatigued Cypress seems to be a good bio-indicator of pollution by lead. Contents record the following order of abundance: bark > unwashed leaves > washed leaves. Disturbances were also recorded for the biochemical markers. Indeed, contents in proline recorded in entropies middle are widely superior to those of zone witness.

Keywords: lead, soil, *Cupressus fastigiata*, biochemical markers.

## ملخص:

يعتبر تلوث الهواء بالرصاص موضوعا مثيرا للقلق في الآونة الأخيرة فقد أجريت الكثير من الأبحاث حول استخدام النباتات، و مؤشراتها الحيوية كدلالات على وجود التلوث بالرصاص، وتعتبر هذه الأخيرة أداة ذات منفعة كبيرة لمصلحة الرصد الجوي.

خلال هذا العمل، تم اختيار أربع نقاط لأخذ العينات على طول الطريق الوطني رقم 3 الرابط بين بكيرة و قسنطينة والذي يشهد حركة مرورية كثيفة، والمتمثلة في اخذ عينات من التربة وشجرة السرو على طول الطريق مع اخذ عينات من نفس النوع في منطقة بعيدة عن اي مصدر للتلوث وهو مشتل " ذراع الناقة" الكائن " بجبل وحش" .

تم أخذ عينات التربة على عمق (0-20 سم) من السطح، أوراق ولحاء أشجار السرو. كما تم تحديد العديد من خصائص التربة كدرجة الحموضة، التوصيل الكهربائي، الجير الكلي، المواد العضوية وكمية الرصاص المحتواة في التربة. أما بالنسبة للغطاء النباتي فقد قمنا بقياس العديد من المؤشرات الحيوية، كالكلوروفيل، البرولين، والسكريات الذائبة، بالإضافة الى قياس نسبة الرصاص في الاوراق المغسولة، الغير مغسولة، واللحاء.

كشفت النتائج ان نسبة الرصاص كانت مرتفعة عن النسب العادية سواء في التربة ام في الغطاء النباتي . فبالنسبة للغطاء النباتي فكانت حسب تركيز الرصاص كالتالي : اللحاء < الأوراق الغير المغسولة < الأوراق المغسولة، كما تم تسجيل اضطرابات للعلامات الحيوية فقد كانت نسبة البرولين والسكريات الذائبة أكبر من نسبتها عند السرو الشاهد.

## Liste des abréviations

**B:** Baryum.

**C:** Chrome.

**CaCO<sub>3</sub>:** Carbonates de calcium.

**Cd:** Cadmium.

**CE:** Conductivité électrique.

**CEC:** Capacité d'échange cationique

**Chl a:** Chlorophylle a.

**Chl b:** Chlorophylle b.

**Co:** Cobalt.

**Cr:** Chrome.

**CT:** Calcaire total.

**Cu:** Cuivre.

**Fe:** Fer.

**MF:** Matière fraîche.

**Mn:** Manganèse.

**MO:** Matière organique.

**Mo:** Molybdène.

**MS:** Matière sèche.

**Ni:** Nickel.

**Pb:** Plomb.

**pH:** potentiel Hydrogène.

**Sn:** Etain.

**Ti:** Titane.

**Zn:** Zinc.

## Liste des figures

**Figure 1 :** Phytodisponibilité des éléments en traces dans les sols (d'après Morel, 1996).

**Figure 2 :** Coupe transversale d'une racine montre le transport des éléments-traces d'une cellule à l'autre dans le végétal par voie symplasmique et apoplasmique (Bargagli, 1998).

**Figure 1 :** Coupe transversale d'une feuille schématisée montrant les voies de pénétration des éléments-traces (Bargagli et Zwickert, 1998).

**Figure 2 :** Présentation schématique des taxons bioaccumulateurs d'ETM et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation (Bargagli, 1998).

**Figure 3 :** Les différentes réponses des plantes à l'accroissement de la concentration des éléments traces dans le sol (d'après Barker, 1981).

**Figure 6:** Localisation de la zone d'étude B'kira.

**Figure 7:** Localisation des points de prélèvements.

**Figure 8:** Variation du pH des sols étudiés.

**Figure 9:** Variation de la conductivité électrique des sols étudiés ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

**Figure 10:** Variation du taux de calcaire total dans les sols étudiés.

**Figure 11:** teneurs des sols étudiés en matière organique (%).

**Figure 12:** Variation des teneurs en plomb dans le sol.

**Figure 13:** Variation des teneurs en Chl chez *cupressus fastigiata*.

**Figure 14:** Variation des teneurs en Chl (a) chez *cupressus fastigiata*.

**Figure 15:** Variation des teneurs en Chl (b) chez *cupressus fstigiata*.

**Figure 16:** Variation des taux de proline dans la végétation.

**Figure 15:** Variation des taux de sucres solubles dans la végétation.

**Figure 16 :** Variation des teneurs en plomb de la végétation.

**Figure 17 :** Variation des teneurs en plomb dans les feuilles lavées et non lavées.

**Figure 18 :** Variation des teneurs en Plomb dans l'écorce.

## Liste des tableaux

**Tableau 1 :** Propriétés du plomb (Cecchi, 2008).

**Tableau 2 :** Données climatiques de la station de Constantine (1981/2010).

**Tableau 3 :** Les principales zones industrielles à Constantine.

**Tableau 4 :** Localisation des stations de prélèvement.

**Tableau 5 :** Résultats des analyses physico-chimiques des sols étudiés.

**Tableau 6 :** Grille d'évaluation des valeurs du pH (SSDS, 1993)

**Tableau 7 :** Grille d'application de la salinité des sols en fonction de la CE (SSDS, 1993)

**Tableau 8 :** Grille d'appréciation du calcaire total du sol (proposées par GEPPA in Baize, 1988)

**Tableau 9 :** Grille d'application du taux de la matière organique dans le sol ( Hazelton et Muephy, 2007).

**Tableau 10 :** Variation des teneurs en chlorophylle (a) et (b) dans les feuilles de *Cupressus Fastigiata* ( $\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ ).

**Tableau 11 :** Variation des taux de proline ( $\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ ).

**Tableau 12 :** Variation des taux de sucres solubles dans les feuilles ( $\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ ).

**Tableau 13 :** Variation du taux de plomb dans la végétation.

# Tables des matières

Dédicace

Remerciements

Résumé

Résumé en arabe

Abstract

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction..... 1

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

<b>I. Contamination des sols par le plomb en milieu urbain.....</b>	<b>3</b>
I.1. Généralités sur le plomb.....	3
I.2. Les propriétés du plomb.....	3
I.3. Origine du plomb.....	4
I.3.1 Origine naturelle.....	4
I.3.2. Origine anthropique.....	4
<b>I.2. Sources de contamination des sols par le plomb en milieu urbain.....</b>	<b>4</b>
I.2.1. Définition d'un sol contaminé.....	4
I.2.2. Origine de la contamination des sols par le plomb en milieu urbain.....	5
I.2.3. Contamination de proximité.....	5
<b>I.3. Comportement et spéciation du plomb dans le sol.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4. Influence de la physico-chimie du sol sur la spéciation des métaux lourds.....</b>	<b>6</b>
I.4.1. Influence du pH.....	6
I.4.2. Influence de la matière organique.....	6
I.4.3. Influence de la capacité d'échange cationique.....	6
<b>II. Mobilité et transfert du plomb vers les plantes.....</b>	<b>7</b>
<b>II.1. Prélèvement des métaux lourds par les plantes.....</b>	<b>8</b>
II.1.1. Prélèvement par les racines.....	8

II.1.2. Pénétration par les parties aériennes .....	9
<b>II.2. Devenir du plomb chez la plante.....</b>	<b>10</b>
II.2.1. Devenir dans les cellules des racines.....	10
II.2.2. Devenir dans les parties aériennes.....	11
<b>II.3. Bioindication et bioaccumulation.....</b>	<b>11</b>
<b>II.4. Réponses des plantes au plomb.....</b>	<b>13</b>
II.4.1. La tolérance.....	13
II.4.2. Les indicateurs.....	13
II.4.3. L'accumulation (et hyper accumulation).....	13
II.4.4. L'exclusion.....	14
<b>II.5. Toxicité du plomb pour les plantes.....</b>	<b>14</b>
II.5.1. Effet du plomb sur la germination.....	14
II.5.2. Effet du plomb sur les constituants cellulaires.....	14
II.5.3 Effets du plomb sur les protéines.....	15

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

<b>I- Présentation de la zone d'étude.....</b>	<b>16</b>
I-1- Situation géographique.....	16
I-2- Géologie et lithologie.....	18
I-3- Réseau hydrographique.....	18
I-4- Climatologie.....	19
I-5- Industries et agglomération.....	20
<b>II- Choix et localisation des stations de prélèvement.....</b>	<b>20</b>
<b>III- Nature et stratégie des prélèvements.....</b>	<b>21</b>
III-1- Prélèvements des sols .....	21
III-2- Prélèvement de la végétation .....	21
<b>V-1- Traitement et caractérisation physico-chimique des sols.....</b>	<b>22</b>
1-1- Préparation des sols.....	22
1-2- Caractérisation physico-chimique des sols.....	22
1-2-1- Mesure du pH.....	22
1-2-2- Détermination de la conductivité électrique (CE).....	22
1-2-3- Dosage du calcaire total (CT).....	22
1-2-4 Dosage de la matière organique (MO).....	23
1-2-5- Extraction et dosage du plomb dans le sol.....	23
<b>VI- Identification et caractérisation de la végétation.....</b>	<b>23</b>

1-1 Identification des espèces.....	23
1-2- Traitement de la végétation.....	24
1-3- Dosage des marqueurs biochimiques.....	24
1-3-1- Dosage de la chlorophylle.....	24
1-3-2- Dosage de la proline.....	24
1-3-3- Dosage des sucres.....	25
1-4- Extraction du plomb dans l'écorce et les feuilles.....	25

### **Chapitre III : Résultat et discussions**

<b>I- Caractérisation physico-chimique des sols</b> .....	26
1 Le pH.....	26
2-La conductivité électrique.....	27
3- Le calcaire total.....	28
4-La matière organique.....	29
5-Les teneurs en plomb dans le sol.....	30
<b>II- Analyse de la végétation</b> .....	31
<b>II-1- Dosage des marqueurs biochimiques</b> .....	31
1-1- Taux des chlorophylles (a), (b).....	31
1-2- Les taux de proline.....	34
1-3- Variation des sucres solubles.....	35
<b>II-2- Teneurs en plomb dans la végétation</b> .....	36
2-1- Teneurs en plomb dans les feuilles lavées et non lavées.....	36
2-2- Teneurs en plomb dans l'écorce.....	39
<b>Conclusion</b> .....	40
<b>Références bibliographiques</b> .....	43

### **Annexe**

# INTRODUCTION

Durant le dernier siècle, l'industrialisation et l'essor des transports ont joué un rôle essentiel dans l'évolution de la société. Ces activités étaient synonymes de progrès, de modernité et d'enrichissement. Mais depuis, la prise de conscience quant aux conséquences environnementales n'a cessé de croître. En effet, de grandes quantités de substances chimiques sont relâchées dans l'environnement, la plupart d'entre elles étant considérées comme dangereuses. L'introduction de ces composés implique des risques sérieux non seulement pour l'environnement et les organismes vivants, mais aussi pour la santé humaine.

Le trafic automobile, par ces émissions de micropolluants métalliques, présente une source importante de pollution des eaux, des sols ainsi que de la végétation bordant les axes routiers (Marcos, 2001). Les zones à atmosphère peu renouvelée sont les plus touchées par cette contamination et/ou pollution.

En Algérie et plus précisément à Constantine, il est aisé de constater qu'on a un véritable problème de contamination de l'air, des eaux, des sols, des végétaux et des animaux. En effet, la ville de Constantine, tel est le cas de la plupart des villes en Algérie, a enregistré dès les années 80, un accroissement de ses agglomérations, de l'activité industrielle ainsi qu'un trafic routier intense. Cette amplification est à l'origine de perturbations, de plus en plus importantes des écosystèmes environnants et de leurs sols. Plusieurs études ont été menées dans ce sens notamment celles relatives à l'évaluation du niveau de contamination par les éléments traces métalliques des eaux, des sédiments, des sols, des végétaux et de la pédofaune (El Hadeff El Okki, 2002 ; Sahli, 2002 ; Afri-Mehennaoui et al. 2004 ; Ouahrani et Gheribi, 2007 ; Sahli et al. 2011).

Par ailleurs, plusieurs études ont montré que les sols, notamment ceux aux abords des infrastructures routières, se comportent comme des systèmes accumulateurs d'éléments traces métalliques (Bourrelier et Berthelin, 1998 ; Colinet, 2003 ; Dère, 2006).

En outre, de nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des végétaux comme bio-indicateurs et bio-accumulateurs de la pollution atmosphérique (Maizi et al. 2010). Certaines espèces ont la propriété, soit de réagir très rapidement et d'une façon très visible aux polluants, soit d'accumuler très fortement les polluants présents (Garrec, 2007). Les différents arbres utilisés comme bio-indicateurs de pollution atmosphérique sont : les platanes d'orient (*Platanus orientalis*) et le caroubier (*Ceratonia siliqua*), le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et les cyprès (*Cupressus sempervirens*, *Cupressus macrocarpa*) (Dellaa, 2012). Ces végétaux sont qualifiés d'arbres sensibles.

Dans ce contexte, nous nous sommes proposé à travers cette étude d'évaluer le niveau de contaminations par le plomb des sols, des feuilles lavées/non lavées et l'écore du *Cupressus fastigiata* implantées le long de la RN3 reliant le centre ville de Constantine à la commune d'El Hamma et caractérisée par un trafic routier intense.

Plusieurs marqueurs biochimiques (Chlorophylle, sucres solubles, et proline) révélateurs de stress ont également été quantifiés chez cette espèce.

Aussi, les paramètres physico-chimiques du sol qui peuvent avoir un effet sur la spéciation, la mobilité ainsi que la biodisponibilité du plomb ont été déterminés.

Ce manuscrit s'articule en trois chapitres :

- ✓ Une synthèse bibliographique qui vise à donner un aperçu sur les différents problèmes en relation avec le sujet traité, en l'occurrence la contamination des sols par le plomb et l'utilisation des arbres dans la bioindication.
- ✓ Un chapitre matériel et méthodes consacré à la caractérisation de la zone d'étude et la description des différentes techniques analytiques utilisées lors de la réalisation de ce travail.
- ✓ Les résultats obtenus seront présentés et discutés dans le troisième chapitre.

**SYNTHESE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## I. Contamination des sols par le plomb en milieu urbain :

### I.1. Généralités sur le plomb :

Le terme ‘métaux lourds’ possède de nombreux synonymes, tels que : «éléments traces»; « éléments en traces » ; « éléments rares » ; « oligoéléments » ; « éléments essentiels, non essentiels » (Kadem, 2005).

Dans la classification de Shaw (1964), sont appelés « éléments mineurs », les éléments dont la quantité dans la croûte terrestre est comprise entre 1000 et 10.000 $\mu\text{g/g}$ , exemple le baryum (B) le titane (Ti) ; le chrome (Cr) ; etc.....Sont appelés « éléments traces », les éléments dont la teneur dans la croûte terrestre est  $< 1000\mu\text{g/g}$ .

Les « éléments traces essentiels » sont des corps chimiques existant dans le sol en quantité extrêmement petites et intervenant dans la nutrition de la plante à des concentrations infinitésimales mais indispensables (Juste, 1994). Il y a en six principaux : Fe ; Mn, Co, Cu, Mo et Zn ; auxquels s'ajoutent B, F, I, qui ne sont pas des métaux mais des éléments traces non essentiels.

Selon (Impens et al.1979), sont appelés métaux lourds la plupart des éléments traces essentiels ou non au métabolisme des végétaux, exemple : Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Zn, etc.

### I.1.2. Les propriétés du plomb

Le Pb dans le sol provient naturellement de la roche mère. A l'heure actuelle la concentration en Pb des couches pédologiques mondiales est estimée en moyenne à 25ppm (de 22 à 28ppm pour la plus grande partie des sols, 44ppm pour les histosols) (Kabata-Pendias et Pendias, 1992). Les caractéristiques du plomb sont récapitulées dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Propriétés du plomb (Cecchi, 2008).

Symbole	Pb	
Numéro atomique	82	
Masse atomique	207,2 g/mol	
Point de fusion	327°C	
Point d'ébullition	1740°C	
Densité	11,35	
Valence	0, +2 , +4	

### **I.1.3. Origine du plomb**

#### **I.1.3.1 Origine naturelle**

Le plomb est présent dans le sol, mais également dans tous les autres compartiments de l'environnement : eau, air et même les êtres vivants, il a une teneur moyenne dans la croûte terrestre de 0,002 %, et est présent dans la plupart des roches mères. La présence naturelle du plomb dans le sol est essentiellement due à sa mise en disponibilité par les processus d'altérations chimiques. En quantité plus faible, le plomb peut être libéré dans l'atmosphère lors de l'activité volcanique ou lors de feux de forêt, et déposé sur les sols par des retombées atmosphériques. En absence de toute action anthropique, les teneurs naturelles moyennes des sols en plomb sont de 32 mg.kg<sup>-1</sup> (Pais and Benton, 2000).

#### **I.1.3.2. Origine anthropique**

La principale utilisation du plomb est la fabrication des batteries d'accumulateurs où il est employé sous forme d'alliages pour les plaques et sous forme d'oxyde pour la fabrication des pâtes garnissant les électrodes et la circulation automobile. Parmi les usages industriels, on peut noter l'insonorisation, l'anti-vibration, la radioprotection dans les centrales nucléaires, les installations de radiographie et les équipements électronique, l'industrie automobile l'emploie également pour la garniture des freins. Des alliages à base de plomb sont encore très utilisés pour la fabrication de gaines pour câbles électriques, pour la soudure et le sertissage, éventuellement en imprimerie (Maizi, 2013).

## **I.2. Sources de contamination des sols par le plomb en milieu urbain :**

### **I.2.1. Définition d'un sol contaminé**

D'après Juste cité dans Baize (1997) "contamination" doit être employée pour les sols lorsqu'il y a des apports anthropiques importants mais sans effets apparents pour l'environnement. Par contre, il préconise le terme « pollution » lorsque des apports liés à des activités humaines ont des effets négatifs visibles sur l'environnement.

Selon Baize (1997), la contamination est un accroissement des teneurs suite aux activités humaines, locales et générales et ; un accroissement du risque de nuire aux fonctions du sol. Mais, c'est probablement plus la forme chimique de l'élément que sa teneur qui pourra provoquer un effet négatif sur le fonctionnement du sol et des végétaux.

### **I.2.2. Origine de la contamination des sols par le plomb en milieu urbain**

La métallurgie et le raffinage du plomb sont à l'origine d'émissions importantes à proximité des gisements ou de sites industriels. Les industries de transformation sont également responsables d'émissions. On peut notamment citer les manufactures de batteries d'accumulateurs, de verres, de céramiques, d'additifs pour carburants, de pigments, de pesticides, d'engrais, l'industrie électronique.

L'élimination de déchets industriels riches en plomb, en décharge ou par incinération peut être responsable d'émissions au niveau des sols, des eaux et surtout au niveau de l'atmosphère. La circulation automobile est responsable de 90 % de la présence du plomb dans l'atmosphère (Caplun et al. 1984). L'Algérie utilise toujours de l'essence au plomb à raison de 0.45 g/l, alors qu'il est l'un des plus grands producteurs mondiaux de GPL (gaz de pétrole liquéfié, à 0 % de plomb) (Bouzerea, 2000).

### **2.3. Contamination de proximité**

Il s'agit essentiellement des usines désaffectées appelées friches industrielles, et de certaines décharges municipales. A ces sites plus ou moins bien connus, souvent fortement pollués, recensés anciennement comme des « points noirs », il faut ajouter ceux concernés par les pollutions de proximité souvent d'origine atmosphérique ou apportées par les eaux superficielles. On peut passer ainsi, en fonction de la distance à la source, d'une pollution concentrée à une pollution diffuse avec tous les intermédiaires possibles (Bourrelier et al.1998).

### **I.3. Comportement et spéciation du plomb dans le sol :**

Le plomb introduit dans le sol ne subit que peu de transformation et migre relativement peu à travers les différents horizons. Etant peu mobile, il reste généralement fixé à la partie supérieure du sol. Il n'est pas entraîné en profondeur par le lessivage, il en résulte un gradient de concentration selon la profondeur (Impens, 1974 ; 1980). Le plomb serait le micropolluant métallique le moins mobile dans le sol. Ainsi dans la gamme de pH de 5 à 9 et à concentration totale identique serait 100 fois moins mobile que le Cd. La grande affinité de la matière organique vis-à-vis de ce métal expliquerait l'accumulation préférentielle de ce métal dans les horizons de surface, ceci fait qu'il est très difficile de distinguer ce qui provient des retombées atmosphériques lointaines et ce qui provient du seul cycle biogéochimique naturel (Juste, 1995). En règle générale l'horizon de surface humifère est l'horizon le plus riche en plomb au sein d'un même solum. Ce fait a été constaté par de nombreux auteurs, mais cette règle générale n'est pas toujours vraie. Lorsque le solum dans son ensemble est vraiment très chargé en Pb

(anomalie pédogéologique) l'horizon de surface n'est plus forcément celui qui montre la concentration maximale au sein du solum (Kadem, 2005).

#### **I.4. Influence de la physico-chimie du sol sur la spéciation des métaux lourds**

##### **I.4.1. Influence du pH**

C'est le facteur qui influence le plus la mobilité et la biodisponibilité du plomb (Swaine, 1986). Les risques de mobilité sont plus grands dans les milieux acides, alors que la solubilité diminue avec l'élévation du pH. A pH 5, le plomb semble majoritairement adsorbé aux oxydes et aux matières organiques (Alloway, 1995), et une augmentation du pH a pour effet de rendre le plomb moins biodisponible. Martinez et Motto (2000) ont montré, dans les différents types de sol, que la concentration des métaux dans la phase aqueuse augmentait quand le pH diminuait. Les travaux de Shu et al. (2001) ont mis en évidence un appauvrissement en Pb dans des horizons superficiels acides de sols miniers. Cet appauvrissement serait causé par une augmentation de la mobilité des métaux due à une acidification des résidus miniers.

##### **I.4.2. Influence de la matière organique (MO)**

La matière organique participe à la rétention du plomb sous forme échangeable (assez facilement mobilisable) ou à l'état de complexes dans lesquels ils sont plus énergiquement fixés (Perrono, 1999). La matière organique joue un rôle essentiel dans le maintien de la qualité du sol, en particulier au niveau de la rétention en eau et de la restitution d'éléments nutritifs aux plantes (azote, phosphore, calcium, magnésium ...). En outre, la matière organique du sol représente un réservoir important dans le cycle du carbone. Des études récentes ont démontrées l'importance de la séquestration du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans ce réservoir : le carbone est d'abord immobilisé dans le tissu des végétaux avant d'être, soit partiellement minéralisé (relibéré sous forme de gaz carbonique), soit partiellement stabilisé dans le sol sous forme d'humus (Van Wesemael, 2006).

##### **I.4.3. Influence de la capacité d'échange cationique (CEC)**

La capacité d'échange cationique est un paramètre global, qui représente la quantité maximale de cations de toutes sortes qu'un poids déterminé de sol est capable de retenir ou, autrement dit, le total des charges négatives du sol disponibles pour la fixation de cations métalliques ou d'ions H<sup>+</sup>. Pour les pays tempérés, les cations dissous dans la solution du sol sont attirés par des composants chargés négativement principalement, les argiles, les oxydes de métaux et la matière organique qui sont les contributeurs les plus importants à la CEC du sol (Bourelle et Berthelin 1998).

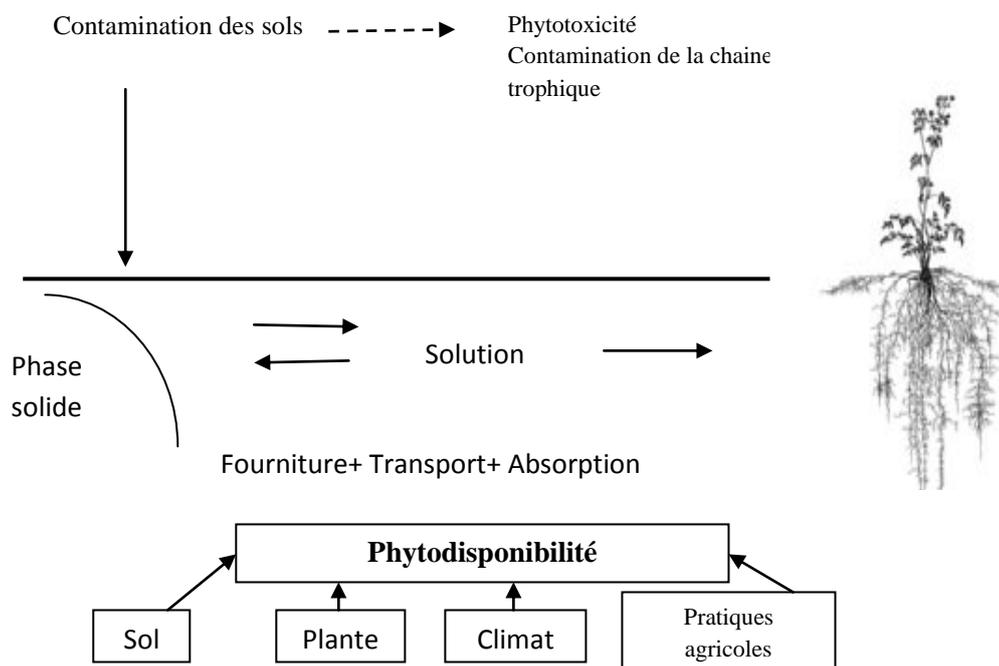
Une CEC élevée veut dire que la possibilité de fixation sur les charges négatives augmente. Plus la CEC est élevée, plus le plomb est adsorbé ou complexé par les matières organiques, les argiles et les oxydes, donc moins assimilables par les plantes (Girard et al. 2005).

## **II. Mobilité et transfert du plomb vers les plantes**

Les plantes sont exposées de deux façons au plomb : par les parties aériennes et par les racines. Le plomb peut être déposé à la surface des feuilles et des racines ou pénétrer dans les plantes. Il peut y pénétrer par les parties aériennes (feuilles, tiges et fruits), à partir de particules en suspension dans l'air, de composés gazeux ou de composés dissous dans l'eau de pluies ou d'irrigation. Une fois prélevés par les plantes, le plomb peut être piégé et ne pas circuler dans la plante, ou alors transporté du lieu de l'absorption vers un autre organe végétal (Faez Mohamed, 2012).

Dans les zones de forte pollution atmosphérique, comme d'une industrie de fabrication d'alliages de métaux ou à côté d'une autoroute, les retombées atmosphériques de métaux sur les parties aériennes des plantes, par les pluies ou les poussières sont importantes. Dans ce cas la contamination des feuilles, des tiges et fruits est élevée. Une partie de cette contamination peut être enlevée par simple lavage à l'eau, ce qui montre qu'elle reste à la surface des parties aériennes en dépôt superficiel. L'autre partie reste piégée dans les feuilles (Faez Mohamed, 2012).

Les plantes supérieures prélèvent le plomb de l'air via leurs parties aériennes et le plomb du sol via leurs racines. De plus, les tissus des plantes peuvent relâcher le plomb dans le sol et les feuilles peuvent le faire dans l'air sous forme gazeuse. Ainsi, l'accumulation des éléments traces dans les plantes dépend à la fois du prélèvement dans les tissus et du relâché dans le milieu (Faez Mohamed, 2012).



**Figure 1** : Phytodisponibilité des éléments en trace dans les sols (d'après Morel et al. 1996).

## II.1. Prélèvement des métaux lourds par les plantes

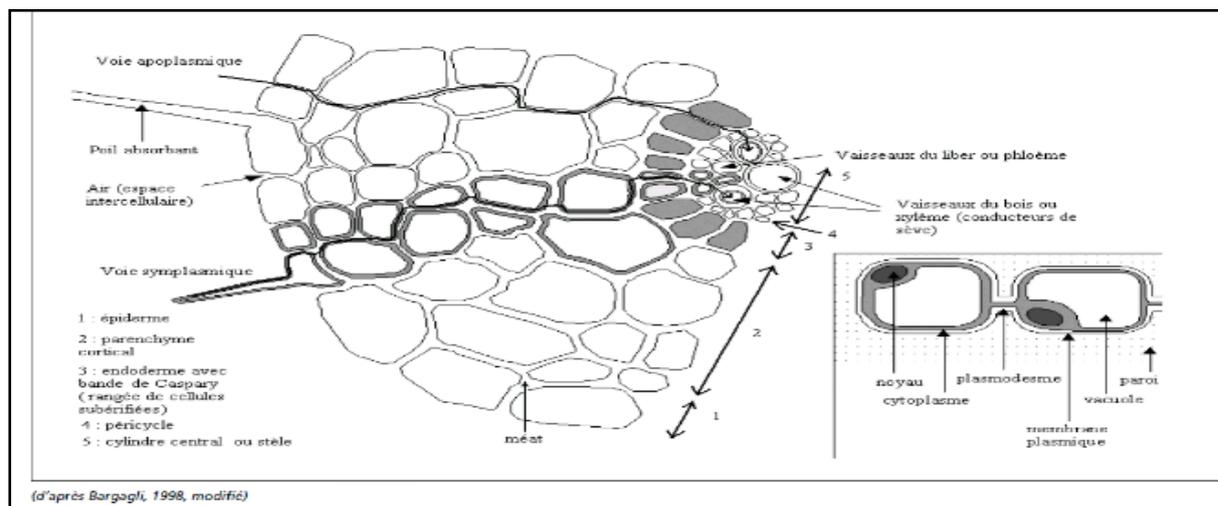
### II.1.1. Prélèvement par les racines

La disponibilité du plomb est dépendante du temps, de la plante, de la biomasse et des autres composantes du sol. Seule une fraction de la teneur totale en cet élément dans le sol est disponible pour les racines des plantes et cette fraction montre généralement une variabilité spatio-temporelle bien plus importante que la concentration en élément total. La phase liquide est essentielle pour que les ions puissent se déplacer vers la surface des racines ; la fraction du plomb dans la solution est celle disponible (Faez Mohamed, 2012).

Quand on compare les concentrations en plomb dans les plantes à celles dans la solution du sol, ces dernières sont plus basses de 1 à 3 ordres de grandeur (Zwickert, 1992). La membrane plasmique est une barrière aux mouvements passifs des ions et sépare l'intérieur de la cellule (cytoplasme, vacuoles et noyau) du milieu extérieur. Son rôle est de concentrer les éléments nutritifs et, de manière incomplète, d'exclure les éléments toxiques. Comme certains métaux sont essentiels, le prélèvement de ceux-ci doit, au minimum, être régulé (Zwickert, 1992).

Le cytoplasme des cellules accolées les unes aux autres communique par des plasmodesmes, véritables « tunnels » de membrane plasmique (fig. 2). Le plomb est prélevé sous des formes cationiques. D'abord véhiculé dans l'apoplaste des racines. Le plomb peut circuler

dans la racine de deux façons, par la voie symplasmique et par la voie apoplasique (Barber, 1984)



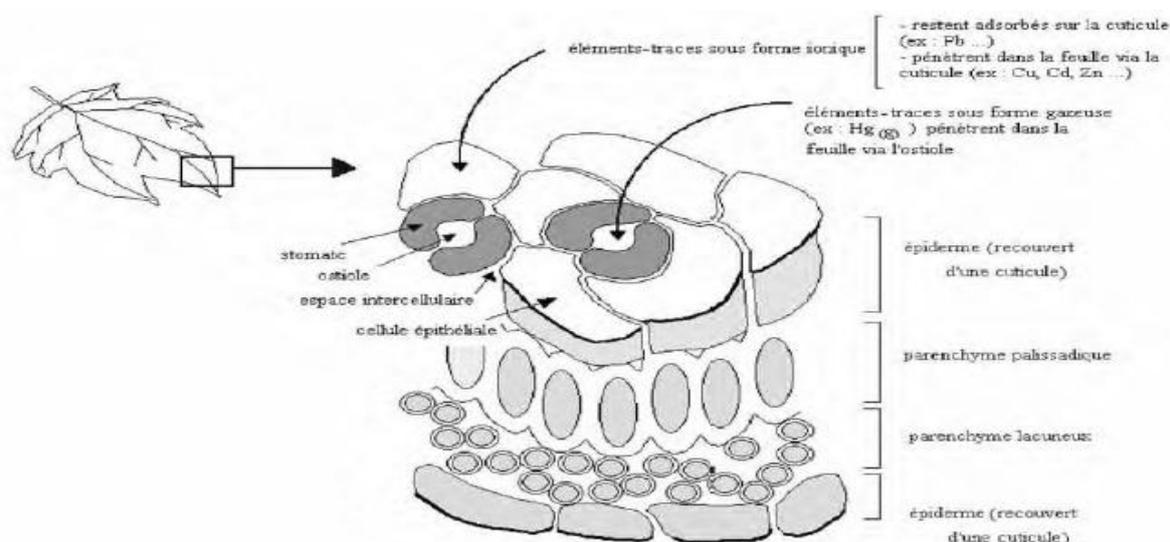
**Figure 2 :** Coupe transversale d'une racine montrant le transport des éléments-traces d'une cellule à l'autre dans le végétal par voie symplasmique et apoplasique (Bargagli, 1998.).

### II.1.2. Pénétration par les parties aériennes

La pénétration du plomb par voie aérienne est généralement faible, sauf lorsque les retombées atmosphériques sont importants : dans certains lieux comme les zones industrielle ou pour certain élément comme le Pb, à cause des résidus de combustion de l'essence plombée, et le trafic routier. Une partie des retombées atmosphérique, solubilisées par l'eau de pluie ou d'irrigation, peut traverser la cuticule des feuilles et des fruits. Constituée d'un réseau imprègne de cires (fig.2), La cuticule recouvre les organes aériens des plantes, et n'existe pas sur les racines (Ferrandon et Chamel, 1989). Elle fonctionne comme un faible échangeur de cations. Un gradient de la plus basse à la plus forte densité de charge se met en place à partir de la surface externe vers la paroi des cellules, la pénétration des ions à travers la cuticule s'en trouvant favorisée le long de ce gradient (Prasad et Hagemeyer, 1999). La perméabilité de la cuticule est ainsi supérieure pour les cations par rapport aux anions. Le passage des cations est inversement proportionnel à la taille du cation hydraté (Prasad et Hagemeyer, 1999). La perméabilité de la cuticule est plus élevée au niveau des cellules stomatiques (Ferrandon et Chamel, 1989). La majeure partie du Pb ainsi prélevée par la plante est stockée dans la cuticule et les parois cellulaires, sous forme insoluble et ne migre pas dans le végétal (OFEFP, 1996).

Plusieurs paramètres ont une influence sur le prélèvement foliaire du plomb :

- Le prélèvement des ions métalliques peut être favorisé par une forte densité des stomates (Prasad, 1999),
- Les dépôts humides seraient moins contaminants que les dépôts secs (Bargagli, 1998),
- Le plomb absorbé par les feuilles pénètre plus lentement que le Cd, Zn, et le Cu (Ferrandon et Chamel, 1989),
- Harrison et Johnston (1987) ont estimés dans les zones rurales que 10% à plus de 60% du Pb (chez plusieurs espèces végétales) peuvent être attribuées aux dépôts atmosphériques. Ces pourcentages variant avec la taille des particules, la solubilité des métaux de ces particules, le temps, les conditions environnementales et les caractéristiques de la surface des plantes.



**Figure 3 :** Coupe transversale d'une feuille schématisée montrant les voies de pénétration des éléments-traces (Bargagli et Zwickert, 1998).

## II.2. Devenir du plomb chez la plante

### II.2.1. Devenir dans les cellules des racines

Dans le cytoplasme, le plomb peut être immobilisé par la formation de complexe avec des ligands organiques tels que les acides organiques, les acides aminés et les phytochélatines (Steffens, 1990) ou par la précipitation sous forme de granule (Malone et al. 1974). Chez nombreuse espèces, l'entrée de métaux toxique (Pb) dans le cytoplasme induit la synthèse, à partir du glutathion et de phytochélatine synthase, de composés appelés phytochélatines.

### **II.2.2. Devenir dans les parties aériennes**

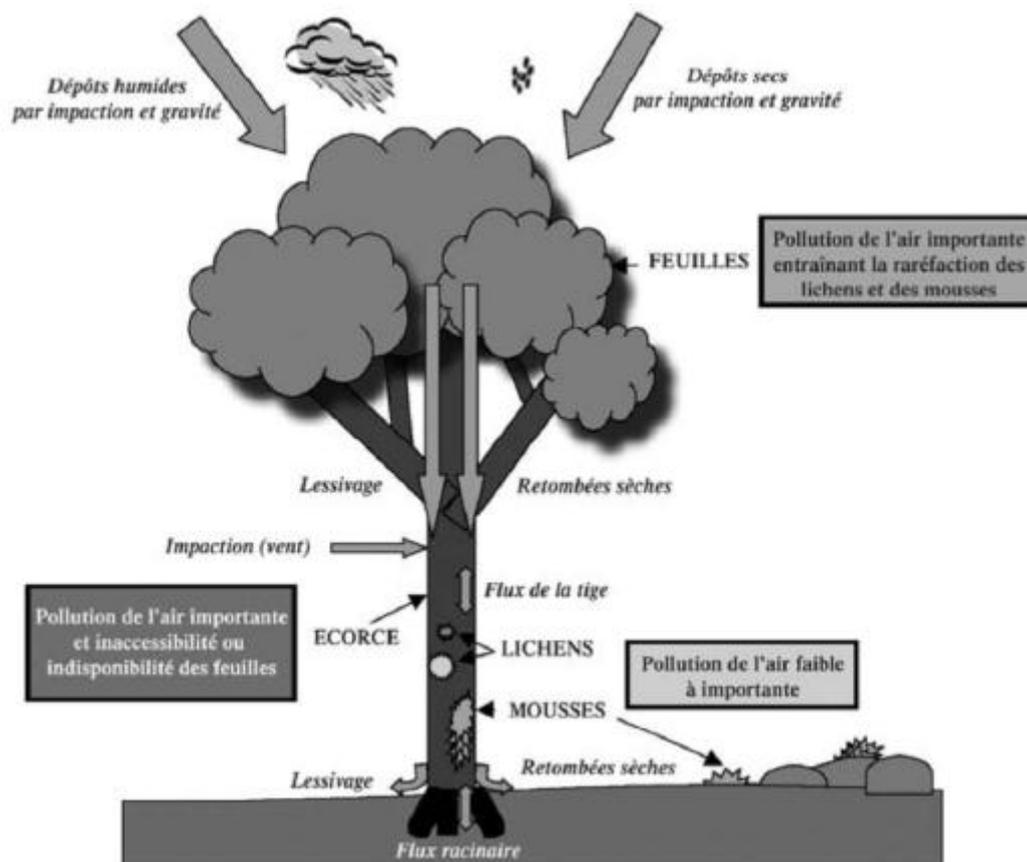
Le plomb déversé dans les vaisseaux du xylème et conduits vers les parties aériennes. Les cations libres peuvent interagir avec les charges négatives des parois des cellules du xylème ce qui limite leur transfert, tandis que sous forme de complexes neutres ou chargés positivement ils sont rapidement transférés vers les parties aériennes des végétaux et distribués dans les différents organes (White et al. 1981, Cataldo et al. 1988)

### **II.3. Bioindication et bioaccumulation**

Le phénomène de bioaccumulation est connu depuis de longue date grâce à l'existence d'espèces capables d'accumuler des substances naturelles à des concentrations supérieures à celle que l'on rencontre dans les sols ou les eaux.

La bioindication consiste à utiliser des espèces animales ou végétales présentes sur un territoire afin d'effectuer un diagnostic d'état environnemental et d'en déceler les évolutions sous l'effet de facteurs socio-économiques ou naturels. Les bioindicateurs sont utilisés pour évaluer les niveaux de qualité de l'eau, de l'air, des sols. Ils peuvent être utilisés en « batterie » pour évaluer le fonctionnement d'un écosystème entier (bocage, forêt, lac, mer, ville). Le terme de bioindicateur, trop général, peut être, selon l'optique de l'étude, remplacé par celui d'espèce-sentinel, de bioaccumulateur ou de biomarqueur. Les arbres et la dendrochronologie apportent leur contribution à la bioindication. Elle est basée sur la capacité des végétaux ligneux à réagir à des stress exogènes, liés aux perturbations ou aux changements qui affectent leur milieu de croissance et l'enregistrement de ces réponses (Stoffel et al. 2010).

Dans les environnements fortement dégradés où la pression anthropique élevée provoque la raréfaction des organismes, certains végétaux supérieurs qui persistent peuvent être utilisés comme bio-accumulateurs végétaux. Bargagli (1998) a dressé une liste non exhaustive des espèces végétales qui peuvent servir aux études de biosurveillance des éléments traces métalliques. Parmi celles-ci figurent le tilleul, le bouleau, le chêne, le cyprès, le peuplier, le pin, et le sureau, mais aussi l'ortie, le pissenlit, le plantain, et le ray-grass (Rzepka et Cuny, 2008) (Fig.4).



**Figure 4 :** Présentation schématique des taxons bioaccumulateurs d'ETM et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation (Bargagli, 1998)

Les espèces bioaccumulatrices présentent, par leur mode de vie et/ou leurs caractéristiques physiologiques et métaboliques, la capacité de bioaccumuler certains contaminants directement à partir du milieu ambiant ou par d'autres voies (nourriture par exemple) jusqu'à des niveaux nettement supérieurs au niveau de la contamination du milieu physique ; eau, sédiment, atmosphère, etc... (Lagadic et al. 1997). Deux processus sont responsables de la bioaccumulation de xénobiotiques dans les organismes :

- La bioconcentration qui est un transfert direct à partir du milieu environnant (sol et solution du sol).
- La bioamplification qui résulte du transfert de molécules chimiques par voie trophique. L'accumulation de certains polluants par les espèces bioaccumulatrices facilite leur mise en évidence et leurs quantifications par des méthodes chimiques et/ou physiques en procédant à l'analyse d'échantillons de ces espèces (Lagadic et al. 1997).

La bioaccumulation du plomb dans les cellules est fonction du temps d'exposition et est directement proportionnelle à sa concentration dans le sol. L'excrétion du plomb est quant à elle proportionnelle à la concentration interne dans l'organisme (Schulz-Baldes, 1974). Il est bien

connu sous quelles formes (ions, agents chélatants, complexes) le plomb est absorbé. Cependant, il est clair que la forme dissoute du contaminant dans le milieu est primordiale et influence le taux de capture (Mikac et al. 1996).

La pénétration du plomb dans les cellules est le résultat de son transport sous forme dissoute  $Pb^{2+}$  (Coombs et George, 1978; Wang et Fisher, 1997). Le taux d'absorption du plomb est linéaire au cours du temps et fonction directe de la concentration en plomb dans le milieu (Boisson et al. 1998). Incorporés dans l'organisme, les ions  $Pb^{2+}$  entrent en compétition avec les ions  $Ca^{2+}$

## II.4. Réponses des plantes au plomb

### II.4.1. La tolérance

La tolérance au plomb d'une plante est sa « capacité à survivre et se reproduire sur des sols toxiques ou défavorables à la plupart des organismes en raison d'une contamination métallique » (Tunner, 1969). Les espèces tolérantes ont la capacité à s'installer, survivre et se reproduire sur des sols pollués (Antonovics et al. 1971). La tolérance au plomb a été observée chez de nombreuses espèces poussant sur des sites métallifères (Shaw, 1990). La tolérance est acquise en réponse à des concentrations excessives du plomb dans les sols. Elle peut s'exprimer par l'exclusion, la détoxification ou la tolérance biochimique (Baker et Walker, 1990).

### II.4.2. Les indicateurs

Ce sont des espèces qui ne présentent aucun contrôle de la translocation. Par conséquent, les concentrations racinaires et foliaires sont en équilibre, et proportionnelle aux teneurs du sol. C'est le cas par exemple, du pissenlit (*Taraxacum officinale*) qui accumule divers métaux lourds en fonction de la pollution environnementale (Kuleff et Djigova, 1984)

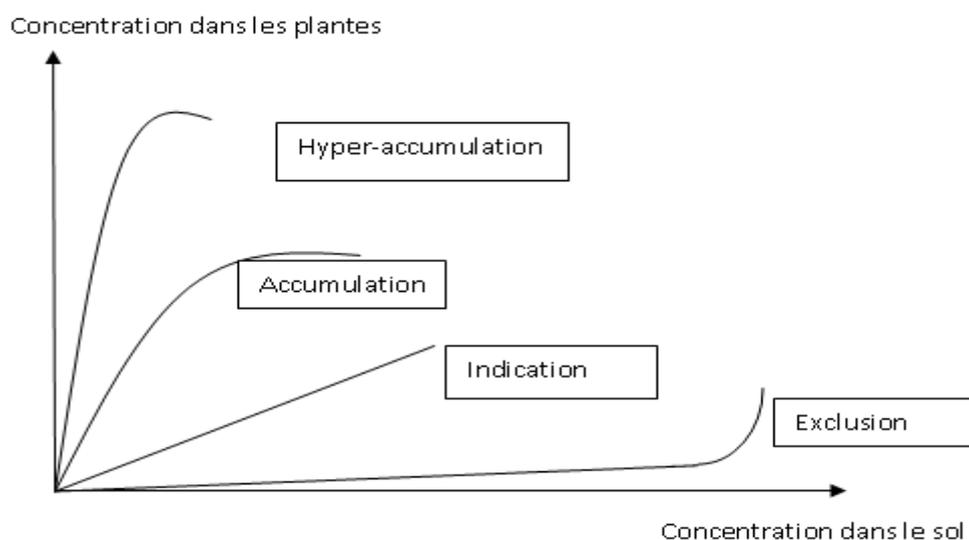
### II.4.3. L'accumulation (et hyper accumulation)

Les sols métallifères abritent une flore, qui a la capacité d'accumuler les métaux à des concentrations inhabituelles, environ 400 espèce hyper-accumulatrices représentent un grand nombre de famille ont été répertoriées (Baker, 1981). En présence de plomb dans le sol, la plante peut l'accumuler à des concentrations élevées dans ses tissus (Schulz, 1997). Par exemple l'Agrostide de Castille (*Agrostis castellana*), colza (*Brassica napus*), Bassis à balais (*Kochia scoparia*), Osier-Saule (*Salix Alba*) (Cutcheon et Schnoor 2003)

En absence du zinc et de cadmium mais en présence du plomb dans le sol, les plantes peuvent accumuler ce dernier à des concentrations très élevées dans leurs tissus (Schwartz, 1997).

### II.5.2.3. L'exclusion

L'exclusion est un processus dans lequel l'absorption et/ou le transfert des racines vers les parties aériennes sont restreints. Baker (1981) a défini : les « excluders » comme étant des espèces qui présentent une faible concentration foliaire, maintenue constante par régulation du transport depuis des racines tant que la concentration dans le sol reste relativement peu élevée.



**Figure 5 :** Les différentes réponses des plantes à l'accroissement de la concentration des éléments traces dans le sol (d'après Barker, 1981).

## II.5. Toxicité du plomb pour les plantes

### II.5.1. Effet du plomb sur la germination

- Réduit fortement le développement de la plante et des racinelles (Wierzbicka et Obidzinska, 1998).
- L'accroissement de biomasse végétale peut diminuer (Kosobrukhov et al. 2004; Xiong et al. 2006)
- Induit rarement la mort de la végétation (Arshad et al. (2008)

### II.5. 2. Effet du plomb sur les constituants cellulaires :

- L'interaction entre le plomb et les microtubules provoque l'apparition de formes cellulaires anormales avec des inégalités dans les épaisseurs de la paroi (Wierzbicka, 1998)
- induit indirectement, une peroxydation lipidique (Wang et al. 2007).
- De fortes concentrations conduisent à la rupture de ces membranes, ce qui conduit à une mort cellulaire.

### II.5.3. Effets du plomb sur les protéines

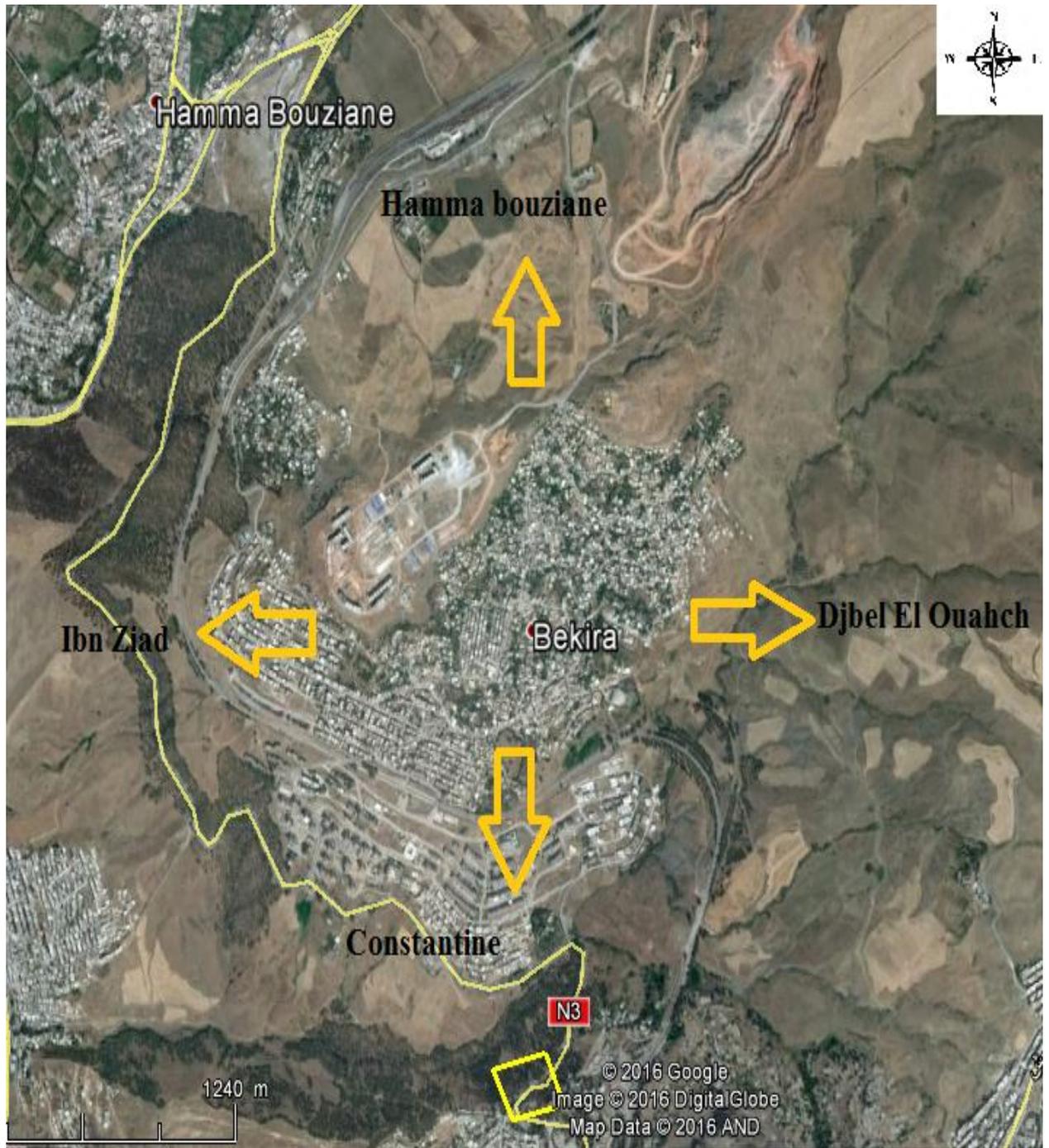
- Il augmente la teneur en protéines totales, cette accumulation protéique, limitée aux premiers jours d'exposition, pourrait être la conséquence de la synthèse, par la plante, de protéines de défense contre ce stress métallique, avec notamment des protéines intervenant dans le maintien du statut redox de la cellule comme l'ascorbate, ou dans la séquestration du métal (Mishra et al. 2006).
- Il diminue le pool protéique (Mishra et al. 2006)
- Induit des modifications de l'expression génique (Kovalchuk et al. 2005) et augmentation de l'activité ribonucléasique (Gopal et Rizvi, 2008).
- Il stimule l'activité protéasique et diminue la teneur en acides aminés libres (Xiong et al.2006).

# **MATERIELS ET METHODE**

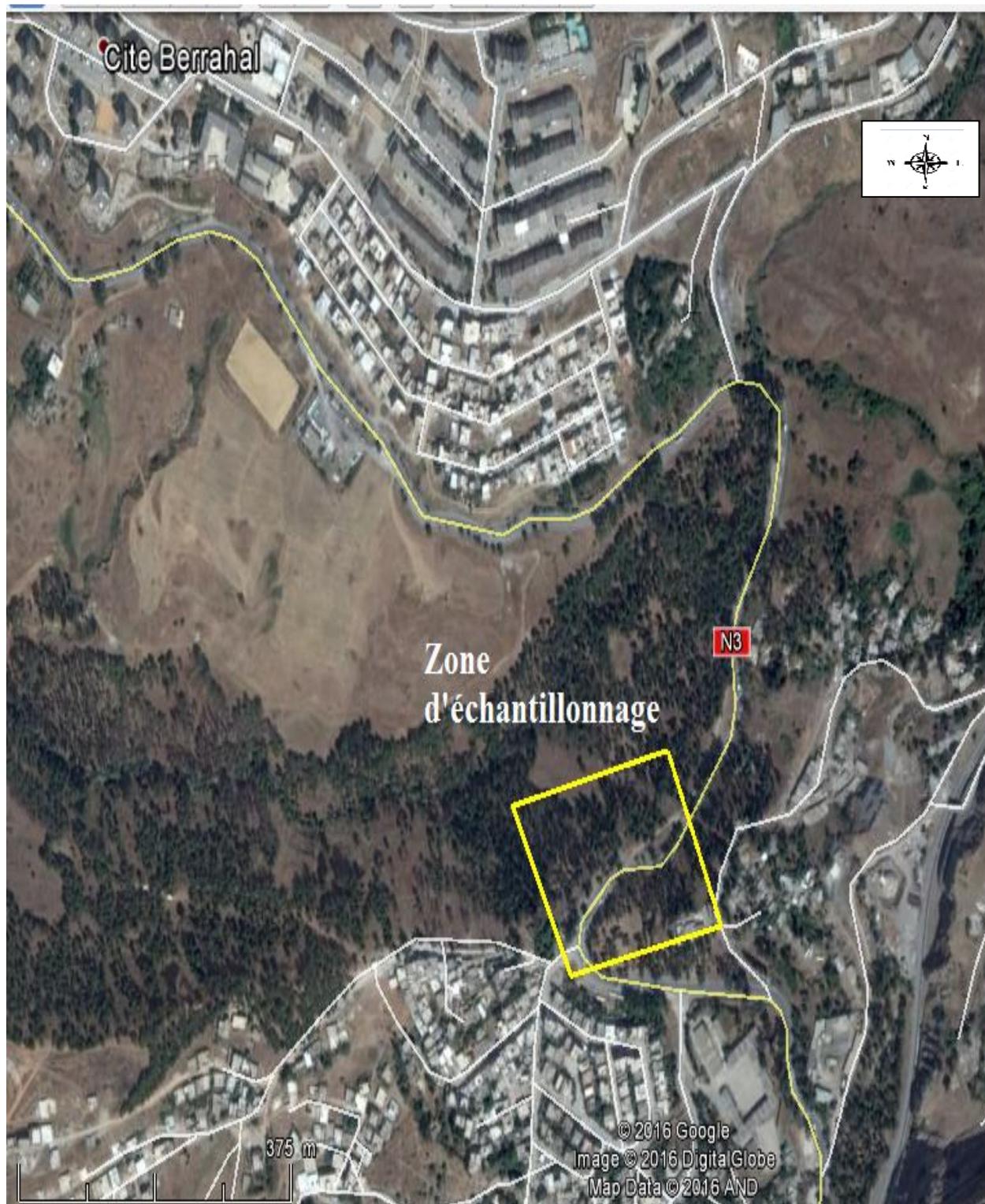
## I- Présentation de la zone d'étude

### I-1- Situation géographique

Notre zone d'étude « B'kira » est située à l'Est algérien dans la région de Constantine, elle est limitée : Au nord par Hamma Bouziane, à l'est par la région de Djbel El Ouahch, à l'ouest par Ibn Ziad, au sud par la commune de Constantine (fig. 6).



**Figure 6 :** Localisation de la zone d'étude B'kira (source Google earth,2016).



**Figure 7** : localisation de la zone d'échantillonnage (source, Google earth, 2016).

En plus de la zone urbaine, un échantillonnage a été réalisé dans une zone témoin éloignée de toute perturbation anthropique. Il s'agit de l'arboretum de Draa Naga situé à Djbel El Ouahch. La zone « Draa Naga » (Arboretum de Djbel El Ouahch) appartient administrativement à la wilaya de Constantine (15km à l'Est de Constantine). Elle occupe une superficie totale de 30 ha, sur le territoire de la commune d'El-khroub.

### **I-2- Géologie et lithologie (ANIREF, 2011)**

La wilaya de Constantine est marquée par une grande variété de structures géographiques :

- **La zone montagneuse au nord :** Ces formations sont le prolongement de la chaîne tellienne qui s'abaisse vers l'Est, elles prennent des directions d'ensemble Sud-Ouest et Nord-Est qui sont dominées respectivement par le mont de Chettaba et le massif de Djebel Ouahch. A l'extrême Nord aux limites de la wilaya de Mila et Skikda on trouve le mont Sidi Driss qui culmine à 1364 m d'altitude.
- **La zone des bassins intérieur :** un ensemble en forme de dépression qui s'étend de l'Est à l'Ouest de Ferdjioua dans la wilaya de Mila à Zighoud-Youcef. Elle est limitée au Sud par les hautes plaines avec une altitude variant de 500 à 600 m; cet ensemble composé de basses collines est entrecoupé par les vallées du Rhumel et de Boumerzoug.
- **La zone des hautes plaines :** Située en Sud-Est de la wilaya entre les chaînes intérieures de l'atlas tellien et l'atlas saharien, elle s'étend sur les communes de Ain Abid et Ouled Rahmoune.

### **I-3- Réseau hydrographique**

Les plaines de Constantine sont parsemées par de nombreux oueds qui convergent en majorité, vers l'élément hydrographique le plus important du Constantinois ; le Rhumel qui traverse les hautes plaines Constantinoises (les plaines de Tadjnanet, d'Oued Athmania et celle d'Ain Smara) suivant une orientation SO-NE jusqu'à sa confluence avec le Boumerzoug qui constitue en fait un de ses importants affluents, car drainant une partie des plaines d'Ain M'lila, Ain Fakroun et celle d'El Khroub (Bouterraa, 2014).

#### I-4- Climatologie

La nature des climats joue un rôle essentiel dans la caractérisation écologique des écosystèmes continentaux. En réalité, il existe une interférence entre climats, composition des communautés -en particulier végétales- propre à un écosystème donné et nature des sols, d'où le tryptique climat, sol, végétation, le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre (Pedelaborde, 1991).

**Tableau 2 :** Données climatiques de la station de Ain EL bey (Constantine, 1981/2010)

Mois	Température Minimale 1981-2010	Température Maximale 1981-2010	Hauteur de Précipitation 1981-2010
Janvier	2,9 °C	11,6 °C	61,9 mm
Février	3,7 °C	13,2 °C	58,9 mm
Mars	4,9 °C	15,3 °C	66,0 mm
Avril	6,8 °C	18,0 °C	46,9 mm
Mai	10,2 °C	22,7 °C	39,2 mm
Juin	15,0 °C	29,2 °C	16,6 mm
Juillet	17,7 °C	33,6 °C	7,3 mm
Août	18,1 °C	33,1 °C	7,9 mm
Septembre	15,2 °C	28,6 °C	31,6 mm
Octobre	11,3 °C	22,8 °C	44,0 mm
Novembre	6,9 °C	16,7 °C	44,2 mm
Décembre	3,9 °C	12,6 °C	72,8 mm

L'interprétation des données climatiques de la ville de Constantine d'après le tableau 2 montre que la température varie entre un maximum de 33.6°C enregistré au mois de Juillet et un minimum de 2.9°C observé au mois de Janvier durant la période (1981/2010). La température moyenne minimale est de 9.71°C. Les températures augmentent d'une allure régulière jusqu'au mois de juillet qui représente le mois le plus chaud. On peut distinguer deux périodes une période chaude et sèche qui s'étale du mois de juin au mois de septembre, et une autre période , humide qui s'étale du mois d'octobre au mois de mars.

Les précipitations sont irrégulières, augmentent durant la saison froide et diminues durant la saison chaude. Elles varient entre un maximum de 72.8 mm en mois de décembre, et un minimum de 7.3 mm en mois de juillet, avec une moyenne de 41.44 mm durant la période (1981/2010).

### I-5- Industries et agglomérations

Les principales activités installées dans la région de Constantine sont l'industrie mécanique, l'industrie pharmaceutique, l'industrie plastique, l'industrie chimique, l'industrie agroalimentaire, les matériaux de construction, l'exploitation des carrières, le complexe de filature et tissage, etc. (tab. 3).

**Tableau 3:** Les principales zones industrielles à Constantine.

N°	Dénomination	commune	Nbr total de lots carrés	Lots disponibles
1	El Tarf	Ibn Badiss	203	8
2	Palma	Constantine	98	0
3	Aissa Ben H'mida	Didouche Mourad	205	6
4	24 Février 56	Constantine	69	3

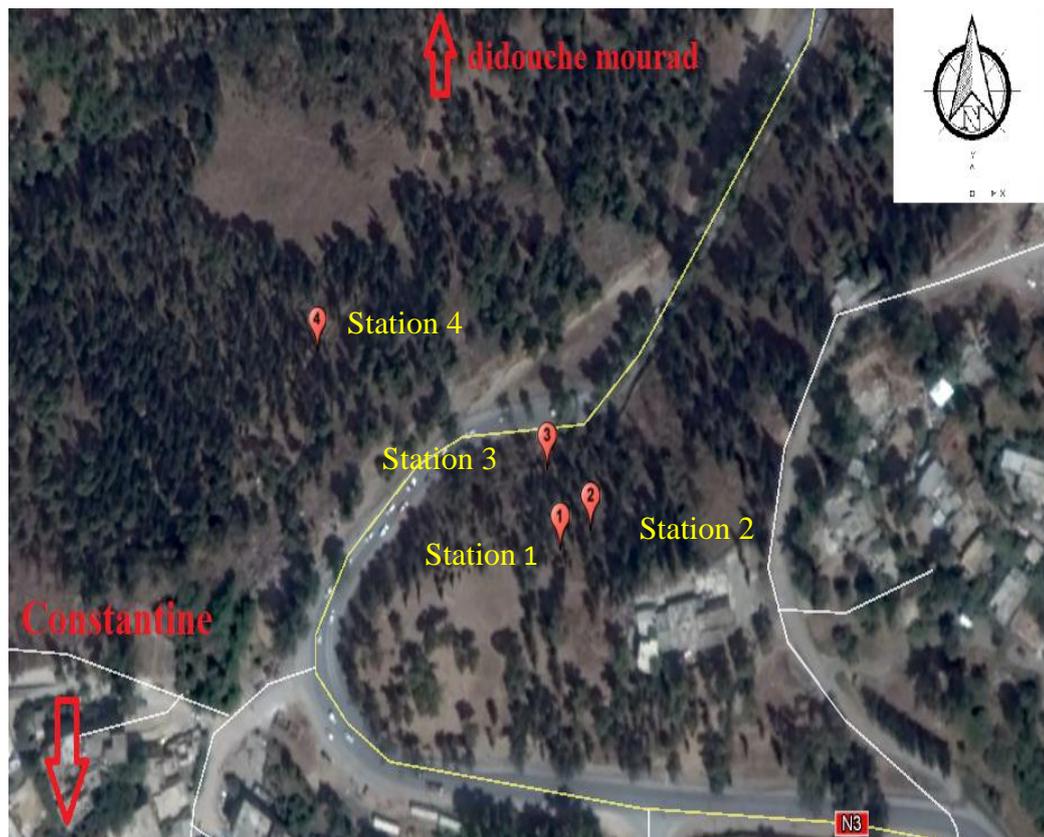
Source: l'Agence Nationale d'intermédiation et de régulation foncière (Aniref, 2001)

### I-2- Choix et localisation des stations de prélèvement

Quatre stations de prélèvement ont été retenues de façon aléatoire à proximité des axes routiers. Les points de prélèvements sont répartis comme suit : 3 points situés sur la rive droite de la route, 1 dernier point de prélèvement situé sur la rive gauche à proximité de la route a une distance inférieure à 500 m (fig. 7 et tab. 4).

**Tableau 4 :** Localisation des stations de prélèvement.

Station 1	Localisation	Altitude
Point1	36.38334°N 006.6134E	534m
Point2	36.38340°N 006.61354E	540m
Point3	36.38357°N 006.61334°E	526m
Point4	36.38391°N 006.61219°E	497m



**Figure 7 :** Localisation des stations de prélèvements (source Gogle earth, 2016).

### III- Nature et stratégie des prélèvements

Les prélèvements ont concerné le compartiment sol pour une caractérisation physico-chimique du milieu, et l'espèce du (cyprés Fastigié) qui se trouvent à proximité de l'axe routier.

#### III-1- Prélèvements des sols

Les prélèvements du sol ont été effectués à l'aide d'une tarière sur une profondeur de (0-20 cm). Pour chaque point de prélèvement un échantillon moyen représentatif est formé à partir de 3 prélèvements choisis au hasard.

Au laboratoire les échantillons sont séchés à l'air libre pendant 15 jours, broyés et tamisés à 2mm puis conservés jusqu'à analyse.

#### III-2- Prélèvements de la végétation.

Les feuilles sont récoltées au hasard en essayant de prélever dans les branches qui se trouve à l'extrémité, en bas, et sur les cotés de l'arbre, la récolte à été faite sur les branche les

plus accessibles. L'écorce et les feuilles prélevées sont séchées dans l'étuve pendant 24h, puis broyées et conservées jusqu'à analyse.

En plus de l'échantillonnage effectué en milieu urbain, des prélèvements de végétation ont également été réalisés dans une zone témoin éloignée de toute perturbation anthropique. Il s'agit de l'arboretum de Draa Naga situé à Djbel El Ouahch.

#### **IV- Traitement et caractérisation physico-chimique des sols**

##### **IV-1- Préparation des sols**

Au laboratoire les échantillons sont séchés à l'air libre pendant 15 jours, broyés et tamisés à 2mm puis conservés pour la détermination des paramètres suivants : pH conductivité électrique, la matière organique, calcaire total, teneurs en plomb.

##### **IV-2- Caractérisation physico-chimique des sols**

###### **IV-2-1- Mesure du pH**

La réaction du sol, acide ou basique, est mesurée par son pH. Il est défini dans une suspension sol /eau distillée : 1g de sol/2,5ml d'eau distillée. Après une agitation d'une heure et repos de deux heures, la mesure est faite à l'aide d'un pH-mètre où l'électrode est versée dans la suspension obtenue (Model 903 Nahita).

###### **IV-2-2- Détermination de la conductivité électrique (CE)**

La CE nous renseigne sur la teneur en sel solubles d'une solution. Elle est mesurée dans une suspension sol/eau distillée : 1/5 (10g de sol /50ml d'eau distillée). Après une agitation d'une heure et repos 2 heures et centrifugation à 1000 tours / min. la mesure se fait à l'aide d'un conductimètre (WTW/Multi 3420).

###### **IV-2-3- Dosage du calcaire total (CT)**

Le principe est basé sur le volume de gaz carbonique dégagé lors de l'attaque d'un échantillon de terre par l'acide chlorhydrique dilué dans une enceinte fermée.

Il est déterminé, selon la méthode de Duchaufour (1977), à l'aide d'un calcimètre de Bernard, par dosage du CO<sub>2</sub> provenant de la réaction calcaire avec l'acide chlorhydrique :



Le volume de CO<sub>2</sub> est proportionnel à la quantité de carbonates, et donc du calcaire présent. La quantité de carbonate est déduite par la courbe d'étalonnage (annexe 01)

#### IV-2-4- Dosage de la matière organique

La mesure la teneur en matière organique a été effectuée selon la méthode de Walkley et Black (1934). La méthode est basée sur l'oxydation du carbone par le bichromate de potassium en milieu fortement acide (acide sulfurique). Cette oxydation s'accompagne d'une transformation de C en CO<sub>2</sub> et le Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>3-</sup> en forme réduites Cr<sub>3</sub><sup>+</sup>. La quantité de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> utilisée excède la quantité nécessaire pour l'oxydation du C. Cet excès est titré à l'aide d'une solution de sulfate ferreux FeSO<sub>4</sub> en présence de diphenylamine comme indicateur.

#### IV-2-5- Extraction et dosage du plomb dans le sol

L'extraction du plomb a été effectuée par digestion humide à l'eau régale (mélange de trois parts d'acide chlorhydrique HCl concentré et d'une part d'acide nitrique HNO<sub>3</sub>) dans un four micro-onde (modèle Speedwave MWS-2. BERGHOF B). La technique est inspirée de la norme NF-ISO 11466 (1995) appliquée au four micro-onde. Cette dernière consiste à ajouter 10 ml d'eau régale à 500 mg de sol. On procède ensuite à une digestion à chaud dans des bombes en téflon sous pression en trois étapes dans le four microonde selon les conditions décrites ci-dessous :

	1 <sup>ère</sup> étape	2 <sup>ème</sup> étape	3 <sup>ème</sup> étape
<b>Température</b>	180°C	100°C	100°C
<b>Puissance</b>	80%	80%	40%
<b>Temps</b>	25mn	10mn	5mn

Le dosage a été effectué par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à Flamme de type PERKIN-ELMER. A Analyst 100. La flamme utilisée correspond à un mélange air-acétylène.

### V - Identification et caractérisation de la végétation

#### V-1- Identification des espèces

Le cyprès fastigié (*Cupressus Fastigiata*) est un arbre hybride de la famille de cupressacées.

**Classification :**

Règne : Plantea.

Embranchement : Pinophyta.

Classe : Pinopsida.

Ordre : Pinales.

Famille : Cupressaceae.

Genre : *Cupressus*.

Espèce : *Cupressus fastigiata*.

*Cupressus fastigiata* est un conifère vigoureux, en colonne étroite. Feuillage bleuté et cônes sphériques à écailles. C'est une espèce héliophile à feuillage persistant, qui vie dans des sols ordinaire, plutôt secs.

**V-2- Traitement de la végétation**

Les échantillons sont séparés : une partie des feuilles est lavées à l'eau distillée, l'autres laissée non lavée, le tout avec l'écorces est mis dans l'étuve à 85°C pendant 48h, après le séchage les échantillons sont broyés et conservés jusqu'à analyse.

**V-3- Dosage des marqueurs biochimiques.****V-3-1- Dosage de la chlorophylle**

L'extraction de la chlorophylle est faite suivant la méthode de Marc Kiney (1941) et Arnon (1949). Elle consiste en une macération des feuilles dans un mélange d'acétone et d'éthanol (75% et 25%). Après 48h la densité optique est mesurée aux longueurs d'ondes 663nm et 645nm correspondant respectivement aux chlorophylles(a) et (b) déterminées à l'aide des équations suivantes :

- Chl.(a) mg /g MF=  $[12,7*DO(663)-2,69*DO(645)]*0,1$
- Chl. (b) mg/g MF=  $[22,9*DO(645)-4,69*DO(663)]*0,1$
- Chl. Total mg/g MF= Chl (a)+ Chl (b)

DO : densité optique

MF : matière fraîche (mg)

### V-3-2- Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesl (1955), modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

Le taux de proline est déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$Y = 0,62DO/MS \text{ (Benlaribi, 1990).}$$

Y : concentration exprimée en  $\mu\text{mol/mg MS}$ .

MS : matière sèche (mg).

DO : densité optique.

### V-3-3- Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et al.(1956). La lecture de la densité optique est effectuée sur une longueur d'onde de 490nm et le calcul de la concentration se fait par l'équation suivante :

$$1,65 * DO(490nm) / MS$$

### V-4-Extraction du plomb dans l'écorce et les feuille

L'extraction du plomb a été effectuée selon la méthode décrite dans "Laboratory guide for conducting soils tests and plant analysis" (Benton, 2001). Elle consiste en une calcination sèche dans un four à moufle suivie d'une digestion humide à l'eau régale diluée au 1/3. Les échantillons de feuilles lavées, non lavées et écorces subissent une calcination sèche à 450°C par paliers successifs. Les cendres blanches obtenues sont récupérées avec 10 ml d'eau régale diluée (300 mL HCl + 100 mL HNO<sub>3</sub> dans 1000 mL d'eau désionisée) et filtré sur papier filtre sans cendres dans des fioles de 20 ml.

Le dosage a été effectué par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à Flamme de type PERKIN-ELMER. A Analyst 100. La flamme utilisée correspond à un mélange air-acétylène.

# **RESULTATS ET DISCUSSION**

## 1- Caractérisation physico-chimique des sols

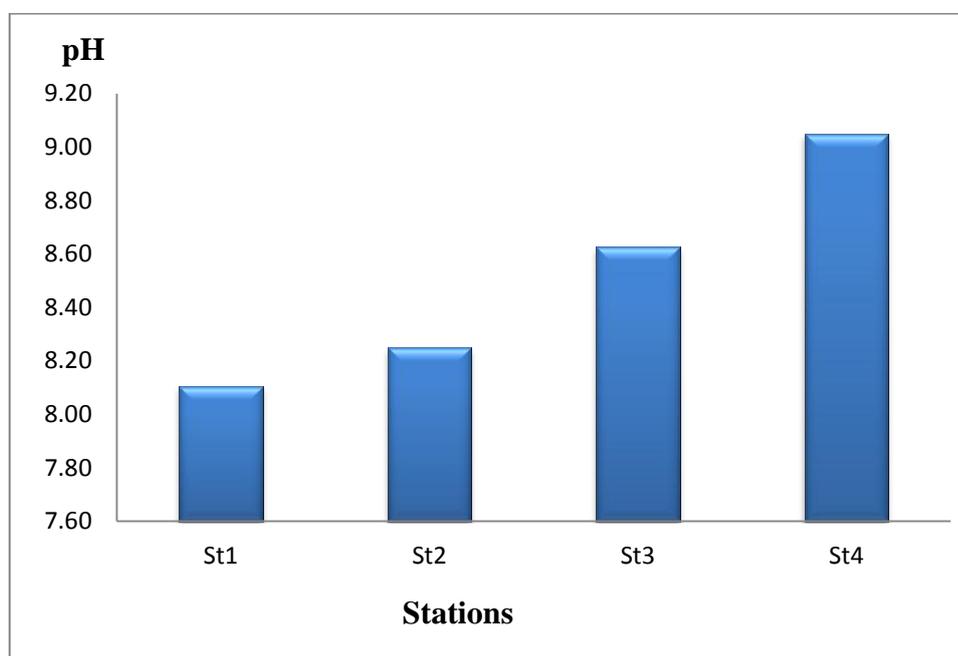
Les résultats des analyses physico-chimiques des sols de la zone d'étude sont récapitulés dans le tableau 5 et illustrés par des histogrammes. Les indicateurs statistiques calculés sont : le minimum, le maximum, la moyenne et l'écartype.

**Tableau 5:** Résultats des analyses physico-chimiques des sols étudiés.

	pH	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	CT%	MO %	Pb (mg/kg)
<b>Min</b>	8.11	114,00	11,00	1,65	26,67
<b>Max</b>	9.05	151,2	34,21	4,67	40
<b>Moyenne</b>	8,51	130,91	22,11	3,23	33,33
<b>ET</b>	0,42	15,32	9,5	1,28	5,44

### 1-1- Le pH

Le pH est le premier indicateur de toute évolution physico-chimique du sol. La moyenne du pH des sols étudiés est de l'ordre de 8,51 avec un maximum de 9,05 et un minimum de 8,11 (tab. 5 et fig. 8).



**Figure 8:** Variation du pH des sols étudiés.

Sur la base des critères établis par le SSDS (1993), il apparaît que nos sols sont basiques (tab. 6). Un tel état des lieux peut être attribué à la présence des carbonates. En effet, plusieurs

auteurs ont montré que le pH des sols dépend de la nature géologique du substrat. Les sols de la région de Constantine reposent sur une formation carbonatée (Djebbar et al. 2004 ; Mebarki, 2005).

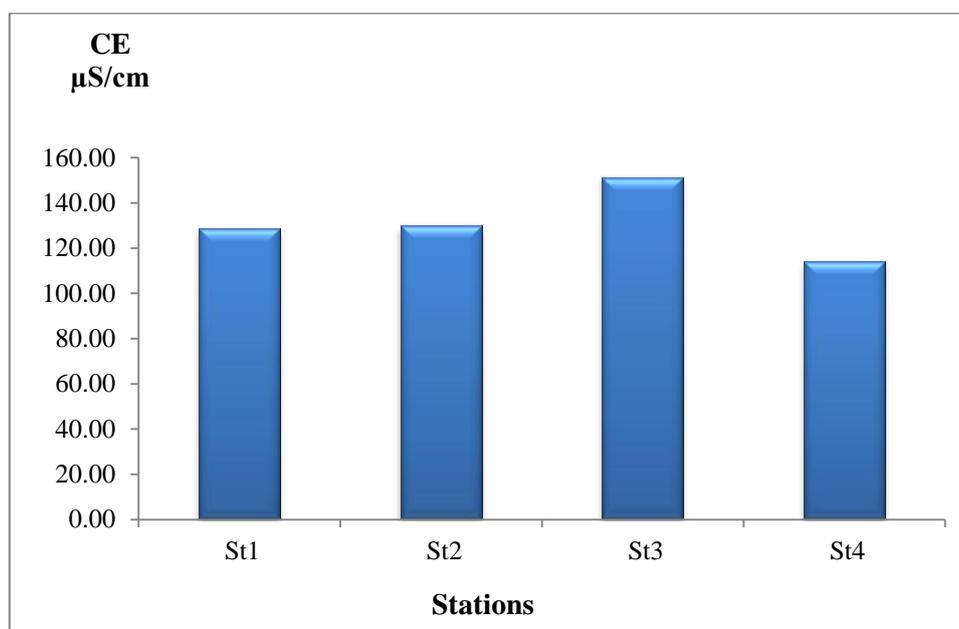
**Tableau 6 :** Grille d'évaluation des valeurs du pH (SSDS, 1993)

Classe	pH
<b>Fortement acide</b>	< 5,0
<b>Acide</b>	5,0 - 6,0
<b>Légèrement acide</b>	6,0 - 6,6
<b>Neutre</b>	6,6 - 7,4
<b>Légèrement alcalin</b>	7,4 - 7,8
<b>Alcalin</b>	> 7,8

### 1-2- La conductivité électrique.

La conductivité électrique définie la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Guessoum, 2001).

Les valeurs extrêmes de la conductivité électrique des sols étudiés varient entre 114  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 151,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et sont en moyenne de l'ordre de 130,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (tab. 5 et fig. 9).



**Figure 9:** Variation de la conductivité électrique des sols étudiés ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

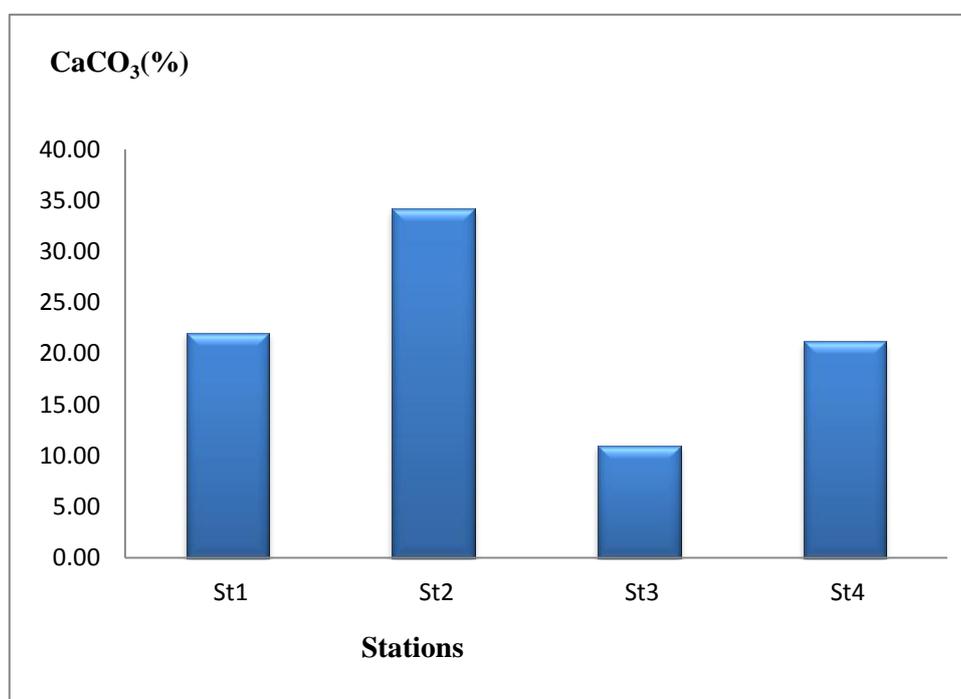
Selon la grille (SSDS, 1993), les sols étudiés sont classés comme des sols non-salins (tab.7)

**Tableau 7** : Grille d'appréciation de la salinité des sols en fonction de la CE (SSDS, 1993)

	Classe	EC ( $\mu\text{S/m}$ )
<b>0</b>	Non-salin	0 - 200
<b>1</b>	Salinité très faible	200 - 400
<b>2</b>	Salinité faible	400 - 800
<b>3</b>	Salinité modérée	800 - 1600
<b>4</b>	Salinité élevée	$\geq 1600$

### 1-3- Le calcaire total

Les teneurs en calcaire totale varient entre un minimum de 11% et un maximum de 34,21% avec une teneur moyenne de l'ordre de 22,11% (tab. 5 et fig. 10)

**Figure 10:** Variation du taux de calcaire total dans les sols étudiés.

Selon la grille proposée par Baize (1998), les sols étudiés sont considérés comme des sols modérément calcaires, à l'exception de la station 2 où le sol est considéré comme un sol fortement calcaire (tab. 8).

**Tableau 8** : Grille d'appréciation du calcaire total du sol (proposées par GEPPA in Baize, 1988)

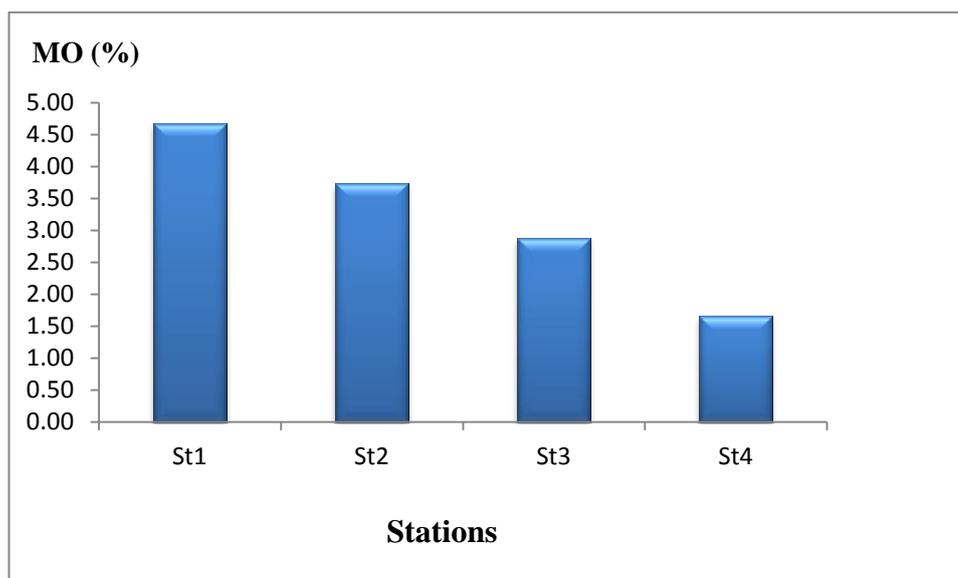
Classe	CT(%)
<b>Non calcaire</b>	≤ 1 %
<b>Peu calcaire</b>	1 % - 5 %
<b>Modérément calcaire</b>	5 % - 25 %
<b>Fortement calcaire</b>	25 % - 50 %
<b>Très fortement calcaire</b>	50 % - 80 %
<b>Excessivement calcaire</b>	> 80 %

D'après Ruellan (1999), la fraction grossière du calcaire présente dans le profil (sous forme de concrétions ou d'une croûte) est une particularité très commune des sols des régions arides et semi arides, lorsque la roche mère sous-jacente présente une prédominance de formations calcaires.

#### 1-4- La matière organique (MO)

La matière organique joue un rôle essentiel dans le maintien de la qualité du sol, en particulier au niveau de la rétention en eau et de la restitution d'éléments nutritifs aux plantes (azote, phosphore, calcium, magnésium ...). En outre, la matière organique du sol représente un réservoir important dans le cycle du carbone. Des études récentes ont démontrées l'importance de la séquestration du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans ce réservoir : le carbone est d'abord immobilisé dans le tissu des végétaux avant d'être, soit partiellement minéralisé (relibéré sous forme de gaz carbonique), soit partiellement stabilisé dans le sol sous forme d'humus (Van Wesemael, 2006).

Les résultats de la matière organique sont exprimés en pourcentage de carbone. La valeur la plus faible (1,65%) a été enregistrée au niveau de la station 4, tandis que la plus forte (4,67 %) a été déterminée au niveau de la station 1. Le taux moyen de la matière organique est de l'ordre de 3,23 % (tab. 5 et fig. 11)



**Figure 11:** Teneurs en matière organique dans les sols étudiés (%).

D'après (Hazelton et Murphy, 2007), il apparaît que le sol des stations 1 et 2 sont riches en matière organique alors que ceux des stations 3 et 4 sont faiblement à moyennement riche en matière organique.

**Tableau 9 :** Grille d'appréciation du taux de la matière organique dans le sol ( Hazelton et Muephy, 2007).

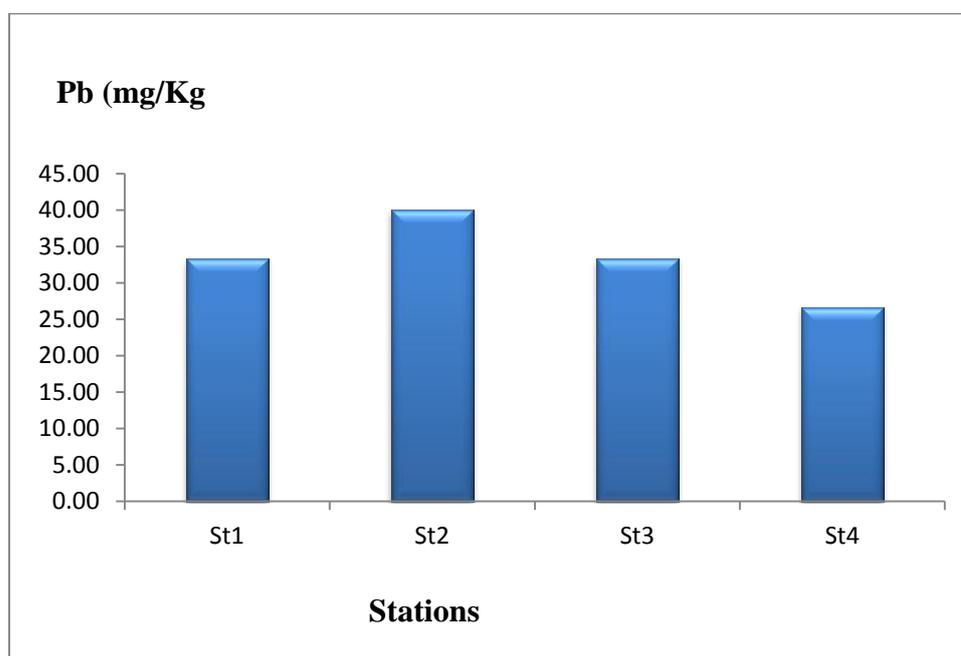
Classe	C (%)
<b>Taux extrêmement faible</b>	< 0,4
<b>Taux très faible</b>	0,4 – 0,6
<b>Taux faible</b>	0,6 – 1,0
<b>Taux modéré</b>	1,0 – 1,8
<b>Taux élevé</b>	1,8 – 3,0
<b>Taux très élevé</b>	> 3,0

### 1-5 Les teneurs en plomb dans le sol

Dans l'horizon de surface des sols forestiers, le plomb est d'origine anthropique. Cet état de fait l'emploi des additifs plombés dans l'essence (Sungmin Hong et al. 1994).

D'après le tableau 5, les teneurs en plomb, varient entre 26,67mg/kg et 40mg/kg avec une teneur moyenne de l'ordre de 33,33mg/kg. La norme mondiale établie par Kabata-Pendias (2011) est de l'ordre de (27 mg/kg). Nous pouvons conclure que les sols des stations 1, 2 et 3 sont considérés comme contaminés et cela s'explique par leurs position proche de la route.

Alors que celui de la station 4 est non contaminé car elle est plus éloignée des bords de la route. (tab. 5 et fig. 12).



**Figure 12:** Variation des teneurs en plomb dans les sols étudiés.

## 2- Analyse de la végétation

### 2-1-Dosage des marqueurs biochimiques

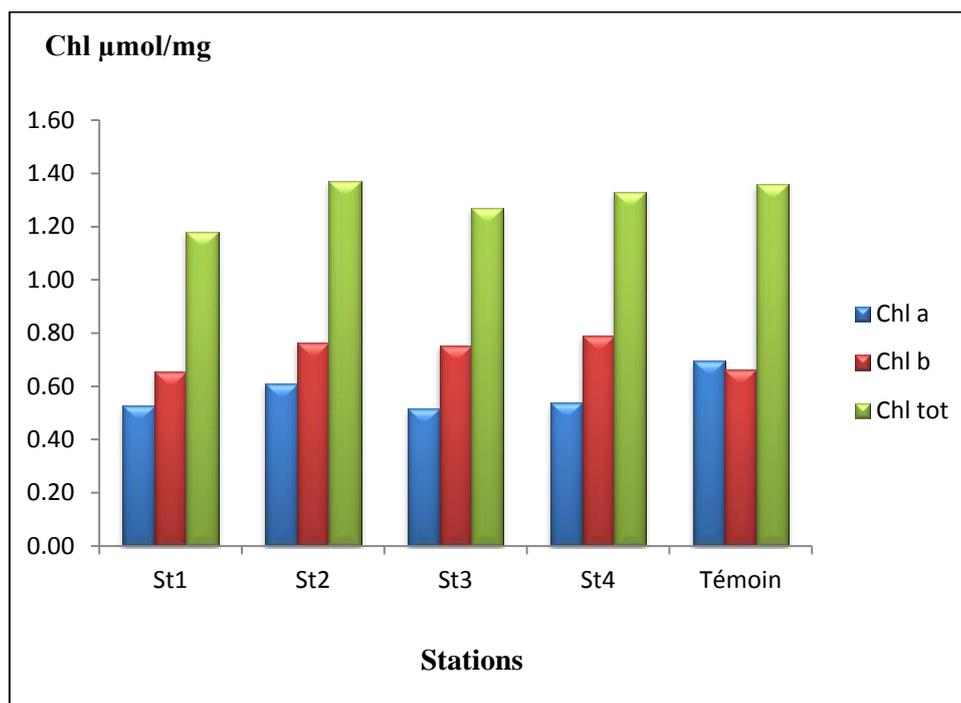
#### 2-1-1-Taux des chlorophylles (a), (b)

Les résultats du dosage des chlorophylles (a et b) dans les feuilles du *Cupressus fastigiata* : sont résumés dans le tableau 10.

**Tableau 10 :** variation du taux de chlorophylle (a) et (b) dans les feuilles de *Cupressus fastigiata* ( $\mu\text{mol/mg Ms}$ ).

Stations	Chl (a)	(Chl b)	(Chl tot)
<b>min</b>	0,52	0,65	1,18
<b>max</b>	0,61	0,79	1,37
<b>moy</b>	0,55	0,74	1,29
<b>Et</b>	0,04	0,06	0,08
<b>Témoin</b>	0,70	0,66	1,36

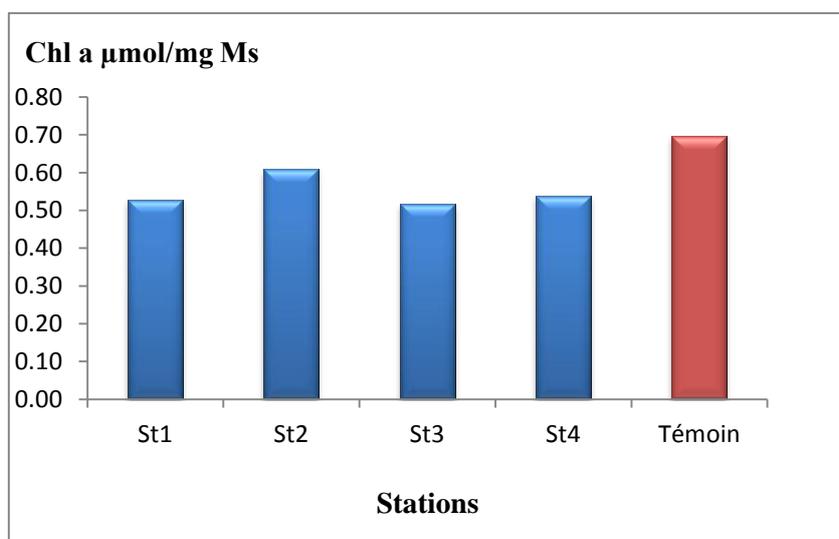
Chl (a) : Chlorophylle A    Chl (b) : Chlorophylle B  
Chl (tot) : Chlorophylle totale



**Figure 13:** Variation des teneurs en chlorophylles chez *Cupressus fastigiata*.

La teneur moyenne de la chlorophylle (a) chez le cyprès fastigié est de  $0,55 \mu\text{mol/mg Ms}$ , avec un minimum de  $0,52 \mu\text{mol/mg Ms}$ , et un maximum de  $0,61 \mu\text{mol/mg Ms}$  (tab.10 Fig. 14).

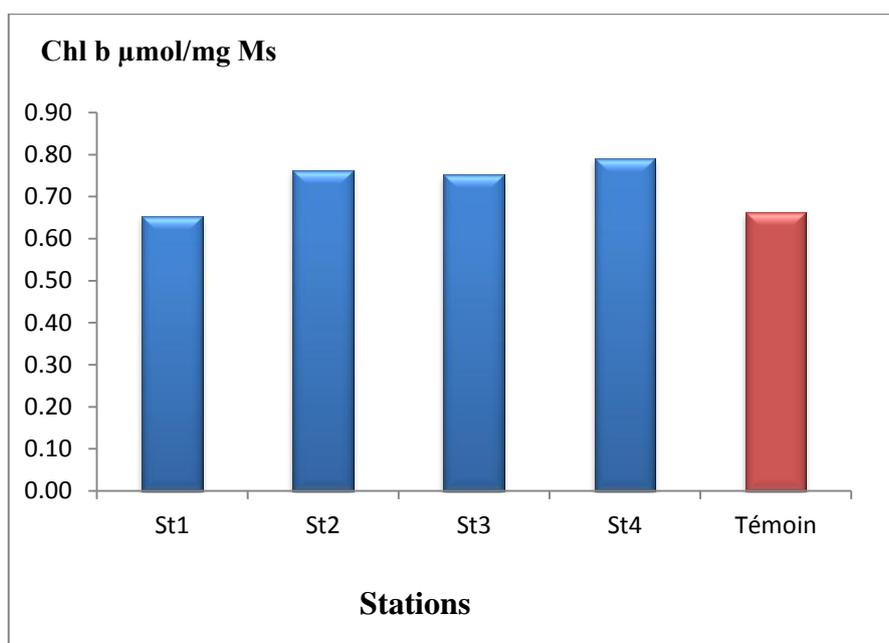
En comparant les teneurs en Chl (a) avec celles du témoin, nous constatant que les teneurs des 4 stations sont inférieures à la valeur du témoin.



**Figure 14:** Variation des teneurs Chl (a) chez *Cupressus fastigiata*

La teneur moyenne en chlorophylle (b) chez *Cupressus fastigiata* est de  $0,74\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ , avec un minimum de  $0,65\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ , et un maximum de  $0,79\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$  (tab.10 et Fig.15).

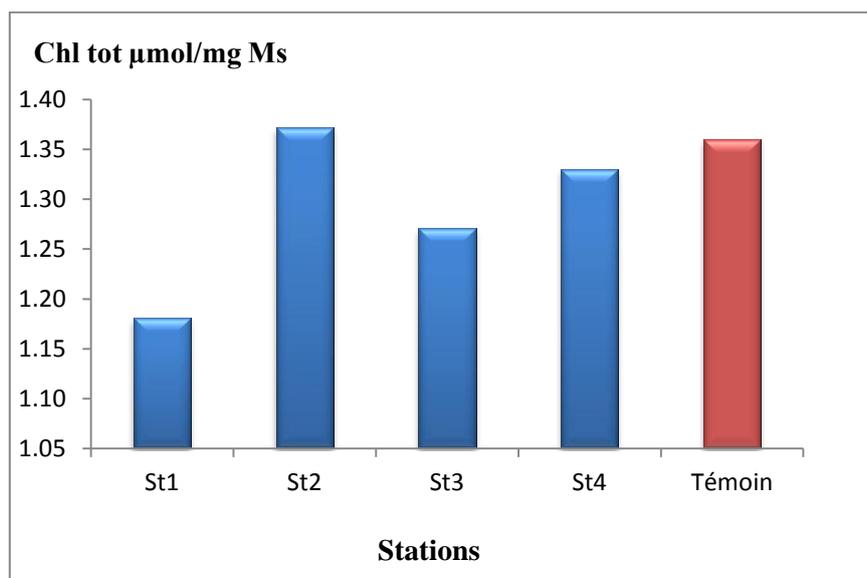
En comparant les teneurs en Chl (b) des stations de B'kira à celles du témoin, nous observons que la teneur de la première station suit les normes, les stations (St2, St3, St4) connaissent une augmentation de la teneur en Chl (b) par rapport au témoin.



**Figure 15:** Variation des teneurs en Chl (b) chez *cupressus fstigiata*

La teneur moyenne de la chlorophylle totale est de  $1,29\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ , avec un minimum de  $1,18\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ , et un maximum de  $1,37\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$  (tab.10 et fig.16).

En comparant les teneurs en Chl (tot) des stations de prélèvement à celles du témoin, nous observons que la teneur en Chl (tot) de la station 2 est proche de celle observée chez le témoin, alors que les stations (St1, St3, St4) sont caractérisées par des teneurs inférieures à celle du témoin.



**Figure 16 :** Variation des teneurs en Chlorophylle totale chez *Cupressus fastigiata*.

La teneur en chlorophylle chez les espèces bioaccumulatrices a tendance à diminuer dans les sites fortement pollués à cause de la perturbation du processus photosynthétique ainsi que la dégradation de la matière fraîche. D'après Braun et Fluckiger (1985), la pollution atmosphérique peut causer des dommages sur les végétaux et provoquer une diminution du poids frais. Une telle conclusion a également été confirmée par Tretiach et al. (2007). En effet, ces auteurs affirment dans leurs travaux que les plantes soumises à une pollution atmosphérique présentent des changements des taux de chlorophylle.

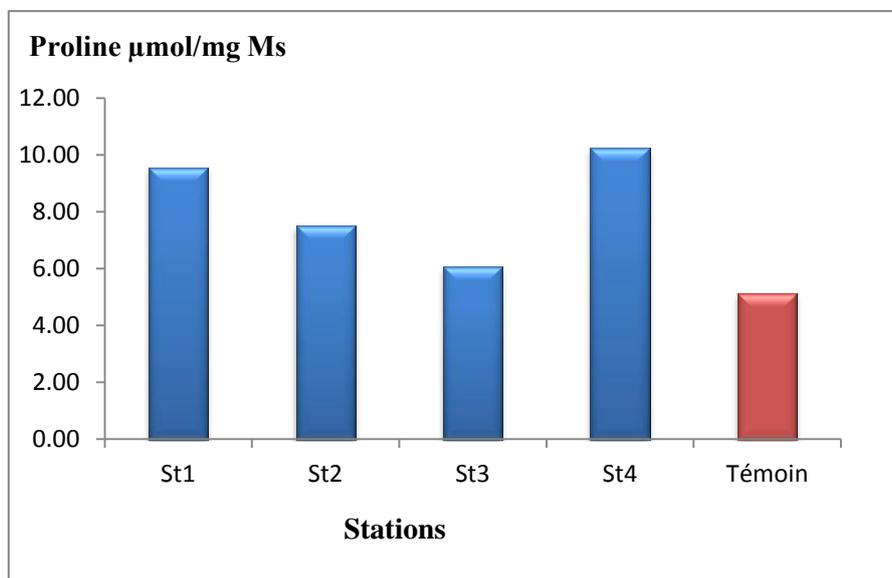
### 2-1-2 Les taux de proline

Les différents résultats du dosage de la proline dans feuilles du *Cupressus fastigiata* sont résumés dans le tableau 11.

**Tableau 11 :** Variation des taux de proline (µmol/mg Ms).

Stations	Proline (µmol/mg Ms)
Min	6,08
Max	10,24
Moy	8,35
ET	1,91
Témoin	5,12

La teneur moyenne en proline est de l'ordre de  $8,35\mu\text{mol/mg Ms}$ , avec un minimum de  $6,08\mu\text{mol/mg Ms}$  observé dans la station 3, et un maximum de  $10,24\mu\text{mol/mg Ms}$  observé dans la station 4.



**Figure 16:** Variation des taux de proline chez *Cupressus fastigiata*.

La teneur en proline chez *Cupressus fastigiata* de la zone témoin est de l'ordre de  $5,12\mu\text{mol/mg Ms}$ . En comparant les teneurs en proline observées dans les stations de prélèvement à celle du témoin, nous constatons que les teneurs sont plus élevées (tab. 11 et fig.16)

Lagadic et al. (1997) affirment qu'une augmentation de la proline peut être observée si les plantes sont soumises aux stress oxydatif crée par la pollution atmosphérique. Selon (Monneveux et Nemmar (1986), l'accumulation de proline est associée à la résistance de la plante au stress, ce qui pourrait donc être l'un des facteurs qui expliquent le mieux la stratégie d'adaptation des plantes.

Par ailleurs, il est à noté que ces perturbations se traduisent aussi par des altérations morphologiques telles que la perte de la couleur et de la vitalité des végétaux. De telles conclusions ont également été confirmées par Semadi (1989), Hellman et al. (2000), Fornasiero (2001) et Maizi (2006).

### 2-1-3 variation des sucres solubles

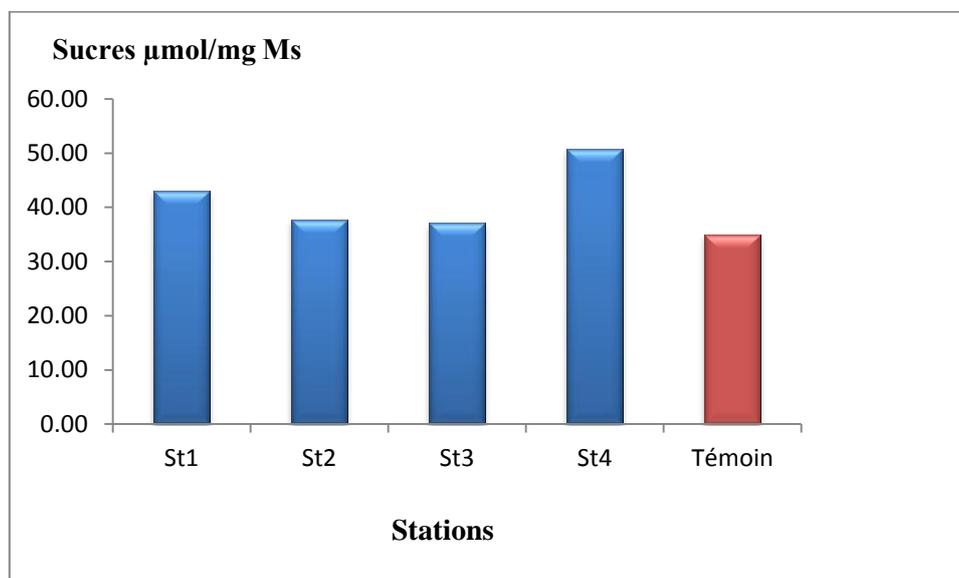
Les résultats du dosage des sucres dans les feuilles du *Cupressus fastigiata* sont résumés dans le tableau 12.

**Tableau 12 :** Variation des taux de sucres solubles dans les feuilles ( $\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ ).

Stations	Sucres ( $\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ )
<b>Min</b>	37,09
<b>Max</b>	50,82
<b>Moy</b>	42,14
<b>ET</b>	6,34
<b>Témoin</b>	34,93

La teneur moyenne en sucre dans les feuilles du *Cupressus fastigiata* est de 42,14  $\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$  avec un minimum de 37,09 ( $\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ ) observé dans la station 3, et un maximum de 50,83 ( $\mu\text{mol}/\text{mg Ms}$ ) observé au niveau de la station 4. Le teneur en zone témoin est de l'ordre de 34,93  $\mu\text{g}/\text{mg Ms}$ .

L'examen de ces résultats montre que les teneurs des sucres solubles observées chez *Cupressus fastigiata* en milieu urbain sont nettement supérieures. Ceci peut s'expliquer par une augmentation de production au niveau des feuilles soumises à un stress.

**Figure 17:** Variation des taux de sucres solubles chez *Cupressus fastigiata*

## 2-2- Teneurs en plomb dans la végétation

### 2-2-1 Teneurs en plomb dans les feuilles lavées et non lavées.

Le plus souvent, l'étude de l'accumulation des éléments traces métalliques chez les végétaux se fait au niveau des feuilles. En effet, les particules se déposent en surface sous forme de dépôts

secs ou humides (pluie, neige, ou brouillard), par gravité et par impaction sous l'effet du vent et peuvent ensuite être retenues en surface (Breulmann et al. 2002, Gratani et al. 2008). Mais les particules peuvent aussi se retrouver dans le sol, après le lessivage par les pluies, et être absorbées par les racines puis migrer vers les feuilles (Breulmann et al. 2002).

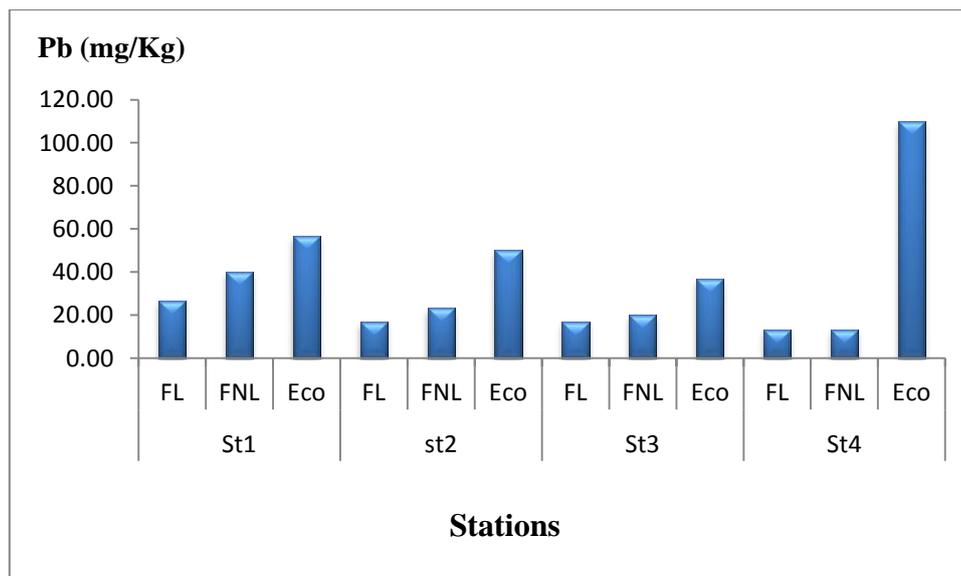
Les résultats des teneurs en plomb dans les feuilles lavées, non lavées et l'écorce *Cupressus fastigiata* sont récapitulés dans le tableau 13.

L'examen du tableau 13 montre que les concentrations moyennes en plomb déterminées dans les feuilles lavées et non lavées du *Cupressus fastigiata* sont supérieures à la valeur limite tolérée (5- 10 ppm) donnée par (Kabata-Pendis et Kabata, 1986). Un tel état des lieux peut s'expliquer par la courte distance qui sépare les arbres de l'axe routier, ce qui permet aux particules fines de se déposer sur le feuillage des arbres qui bordent l'axe routier en question.

**Tableau 13 :** Dosage du plomb dans la végétation.

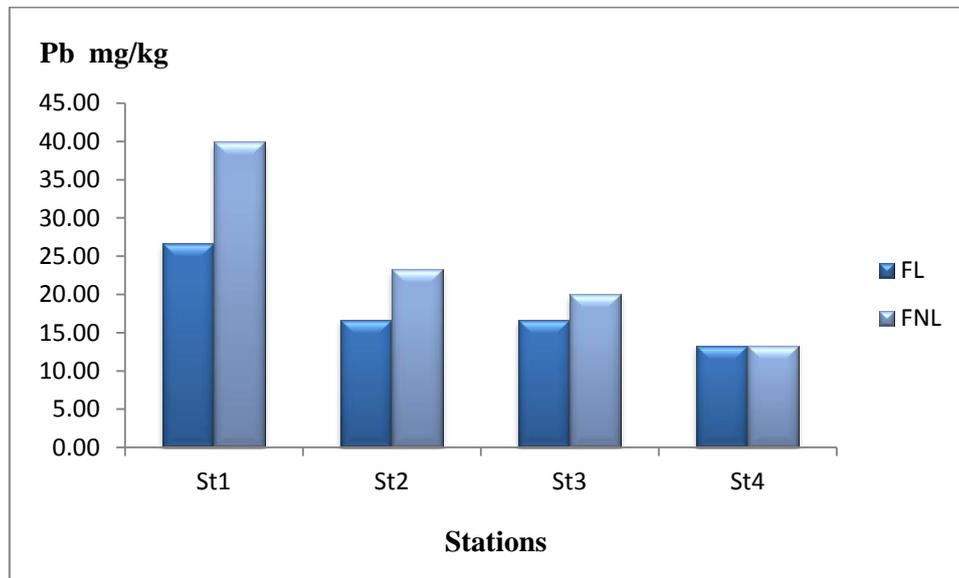
Stations	Pb_FL (mg/kg)	Pb_FNL (mg/kg)	Pb_Eco (mg/kg)
MIN	13,33	13,33	36,67
MAX	26,67	40,00	110,00
MOY	18,33	24,17	63,33
ET	5,77	11,34	32,20

FL : Feuilles lavées FNL : Feuilles non lavées Eco : Ecorce



**Figure 18:** Variation des teneurs en plomb dans les feuilles lavées, non lavées et l'écorce.

Par ailleurs, en comparant les feuilles lavées et non lavées des stations (fig. 18), on observe que les teneurs en plomb les plus élevées sont observées dans les feuilles non lavées par rapport aux feuilles lavées. Nous avons enregistré une concentration moyenne de l'ordre de 24.17 mg/kg pour les feuilles non lavées contre (18, 33mg/kg) pour feuilles lavées.



**Figure 19:** Variation des teneurs en plomb dans les feuilles lavées et non lavées.

Le lavage des feuilles permet de comparer la quantité d'éléments captés par les racines (mesurée dans les feuilles lavées) à celle des éléments piégés par voie racinaire et foliaire (mesurée dans les feuilles non lavées), et d'en déduire la part imputable aux dépôts atmosphériques. Juste (1995) rapporte que près de 80% du plomb déposé par voie atmosphérique sur les feuilles peut être éliminé par rinçage, ce qui tend à prouver qu'il n'a que peu ou pas pénétré dans la plante, sans doute en raison de sa forte rétention par les membranes cuticulaires qui fonctionnent comme une barrière efficace. Le plomb des feuilles proviendrait donc essentiellement d'un dépôt atmosphérique. Ding et Pan (2003), ont confirmé la présence du plomb dans les parties aériennes de plantes ayant poussé sur site contaminé et que au moins 50% était d'origine atmosphérique. Il est donc probable que ces teneurs, même après lavage, proviennent du sol, et en partie, de la pollution atmosphérique. En effet, Arvik et Zimdhal (1974) ont montré que des particules de plomb très fines pouvaient pénétrer par les stomates des feuilles.

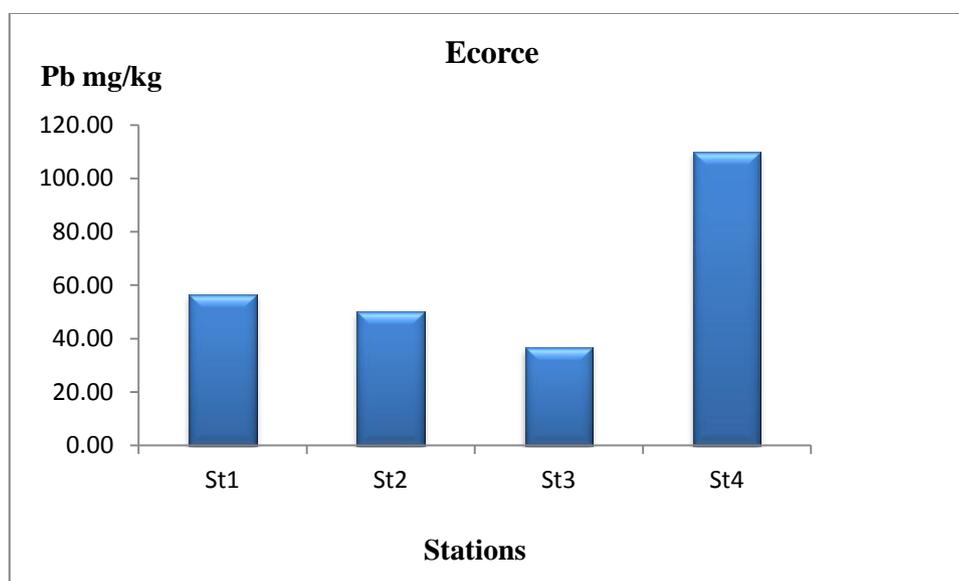
### 2-2-2 Teneurs en plomb dans l'écorce

La bioaccumulation ne concerne pas seulement le feuillage, les écorces sont aussi des accumulatrices de plomb. Ils sont utilisés dans les études à proximité des axes routiers très fréquentés ou autres environnements lourdement pollués (Bargagli, 1998).

Des études conduites sur les émissions de plomb provenant du trafic routier ont montré que la concentration en plomb dans l'écorce était fortement corrélée à la densité de la circulation (Laaksovirta et al.1976).

Les teneurs en plomb dans l'écorce du *Cupressus fastigiata* de la zone d'étude varient entre un minimum de 36,67mg/kg observé dans la station 3, et un maximum de 110mg/kg observé dans la station 4 avec une teneur moyenne de 63,33 mg/kg (fig. 20).

L'examen de ces résultats montre que les teneurs en plomb dans l'écorce sont plus élevées que celles des feuilles (lavées et non lavées). En effet les écorces sont considérés comme d'excellents accumulateurs, elles peuvent capter le plomb apporté par l'atmosphère ou provenant du houppier par le ruissellement le long du tronc. Notons que les troncs d'arbres constituent une matrice verticale commune, très enrichie par l'apport atmosphérique (Kebich et al. 2001).



**Figure 20:** Variation des teneurs en plomb dans l'écorce de *Cupressus fastigiata*.

# CONCLUSION

Les polluants métalliques sont des substances non biodégradables et potentiellement toxiques. Ils sont transportés sous forme particulaire associée aux aérosols. Ces aérosols, générés par les véhicules et par l'infrastructure, peuvent se disperser dans l'atmosphère, puis éventuellement retomber par voie sèche ou humide sur les sols en bordure de chaussée et sur les végétaux. Ils participent alors à la pollution atmosphérique de proximité (<500m). Ils sont aussi susceptibles d'être entraînés par le ruissellement des eaux pluviales. Ces éléments traces métalliques présents dans les eaux de ruissellement peuvent migrer dans le sol par infiltration et contribuer à la dégradation de la qualité des sols.

La pollution atmosphérique de proximité par le plomb est un sujet de préoccupation récent. De nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des végétaux, comme bio-indicateurs et bio-accumulateurs de la pollution plombique. Ces derniers sont considérés comme des outils de grand intérêt pour la biosurveillance.

C'est dans ce contexte que ce travail a été réalisé. L'objectif visé étant de quantifier les teneurs en plomb dans les sols et le feuillage lavé, non lavé et l'écorce du *Cupressus fastigiata* bordant un axe routier caractérisé par un trafic intense ; il s'agit de la route nationale N°03 reliant la commune de Constantine à celle d'El Hamma. Outre les teneurs en plomb qui constituent le cœur de ce travail, plusieurs marqueurs biochimiques de stress ont été déterminés chez ladite espèce.

Ainsi et malgré la législation en matière de protection de l'environnement, les rejets industriels, urbains et agricoles continuent à être la principale source de perturbation de l'environnement. En effet, les paramètres analysés, ont révélé des cas de perturbation considérables. À l'issue de cette étude, les principales conclusions peuvent être résumées ainsi :

Il ressort de la caractérisation physico-chimique des sols que ces derniers sont légèrement basiques, non salins, moyennement calcaires, et faiblement à moyennement riches en matière organique.

Sur la base des normes proposées par Kabata-Pendias (2011), il apparaît que les concentrations en plomb mesurées reflètent un enrichissement. Cette situation traduit l'influence

directe des apports du trafic routier, sur l'ensemble des sols aux abords de cette infrastructure routière.

L'utilisation du feuillage lavé, non lavé et l'écorce du *Cupressus fastigiata* comme bioindicateurs de la contamination par le plomb a révélé la présence de ce métal dans tous les échantillons. Nous avons enregistré l'ordre d'abondance suivant :

Ecorce >> Feuilles non lavées > Feuilles lavées.

Ainsi et compte tenu de cette séquence, en particulier pour les feuilles lavées et non lavées, il est évident que le plomb quantifié chez cette espèce ne provient pas uniquement du sol. En effet, les végétaux bordant les axes routiers peuvent absorber le plomb non seulement par voie racinaire mais aussi par voie transfoliaire puisque cet élément peut se disperser dans l'atmosphère, puis retomber par voie sèche ou humide sur ces végétaux.

De plus, les teneurs en plomb déterminées dans l'écorce sont deux à trois fois plus élevées que celles des feuilles non lavées et lavées ; ceci pourrait être attribué au fait que l'écorce se présente sous forme d'écailles susceptibles d'intercepter mais surtout de retenir une quantité beaucoup plus importante de plomb.

Par ailleurs, le dosage des biomarqueurs (Chlorophylle, sucres solubles, et proline) révélateurs de stress chez *Cupressus fastigiata* traduit aussi des perturbations considérables. En effet, les taux de chlorophylle enregistrés en milieu urbain sont nettement inférieurs à ceux de la zone témoin. Un tel résultat n'est pas surprenant dans la mesure où la teneur en chlorophylle baisse considérablement dans les sites fortement pollués à cause de la perturbation du processus photosynthétique.

De même, les taux en proline et sucres reflètent aussi des perturbations considérables. Les valeurs enregistrées chez *Cupressus fastigiata* échantillonné en milieu urbain sont nettement élevées par rapport au témoin. L'accumulation de ces composés est souvent associée à la résistance de la plante au stress, et est considérée comme l'une des stratégies d'adaptation des plantes aux stress notamment ceux d'ordre abiotique.

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que la contamination par le plomb, même faible, constitue un problème sérieux qu'il faudra prendre en charge du fait de l'effet cumulatif mais aussi toxique de cet élément notamment le long de la chaîne alimentaire.

Enfin, comme perspectives et d'un point de vue fondamental, il serait intéressant :

- ✓ de multiplier les points de prélèvements et d'agrandir la zone d'étude,
- ✓ de prendre en considération d'autres essences bordant l'axe routier en question,
- ✓ de doser d'autres éléments traces métalliques aussi bien dans les parties aériennes (feuillage, écorce) que dans le système racinaire.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## A

- Afri-Mehennaoui F.Z., Sahli L. et Mehennaoui S. 2004.** Assessment of sediment trace metal level and biological quality of Rhumel river by using multivariate analysis. *Environmetrics*, **15**, 435-446.
- Alloway B.J. 1995.** Heavy metals in soils. Blackie Academic & Professional, London, 2nd Edition. pp.190-242.
- ANIREF 2011.** <http://www.andi.dz/PDF/monographies/Constantine.pdf>
- Antonovics J., Bradshaw A.D., Turner R.G. 1971.** Heavy metal tolerance in plants. Université jean monnet , thèse de doctorat Esteban Remon 2006.pp85.
- Arnon D. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology* vol. 24 n. 1 p. 1-15.
- Arshad M J., Silvestre E., Pinelli, Kallerhoff J., Kaemmerer M., Tarigo A., Shahid M., Guiesse M., Pradere P. et Dumat C. 2008.** "A field study of lead phytoextraction by various scented Pelargonium cultivars." *Chemosphere* 71(11): 2187-2192.
- Arvik J. H ., Zimdhal R. L. 1974.** Barriers to the foliar uptake of lead. *J. Environ. Qual*, 3 (4) : 369-373.

## B

- Baize D. 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie: choix-expression-présentation-interprétation. Ed. INRA, Paris, 172p.
- Baker A.J.M.,Walker P.L. 1990.** Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants, in Heavy Metal Tolerance in plants: Evolutionary Aspects. Shaw A.J. (ed.), CRC Press, Boca Raton, Fl, chap. 11.
- Barber S.A. 1984.** Soil Nutrient Bioavailability: a mechanistic approach. John Wiley and Sons, New York, Etats-Unis. (1984). seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium." *Plant Growth Regulation* 37: 69-76.
- Bargagli R. 1998.** Trace elements in terrestrial plants. An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Springer (1998) p 324.
- Barker A.J.M. 1981.** Accumulators and excluders Université jean monnet , thèse de doctorat Esteban Remon 2006. Bioavailability and Risks of Metals, 2nd Eds. Springer-Verlag, New York, NY, 866p.
- Benton, 2001.** Laboratory guide for conducting soils tests and plant analysis. Boca Raton London New York Washington, D.C. 382p.

**Bourrelier P et Berthelin J. 1998.** "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris.

**Bouterraa S. 2014,** Utilisation des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest dans la région de Constantine. Mémoire de magistère. Université de Mentouri Constantine, pp 57.

**Bouzerea M. 2000.** Impact du plomb sur les caractéristiques Morpho-physiologiques et biochimiques de *Triticum durum* et *Triticum aestivum*. Thèse de magistère I.S.N. Annaba.

**Breulmann G., Markert B., Weckert V., Herpin U., Yoneda R. et Ogino K. 2002.** Heavy metals in emergent trees and pioneers from tropical forest with special reference to forest fires and local pollution sources in Sarawak, Malaysia, *The Science of the Total Environment*, 285, p.107-115.

### C

**Caplun E., Petit D. et Picotto E. 1984.** Le plomb dans l'essence – La Recherche n°152 – Vol. 15, 270 – 280.

**Cataldo D.A., McFadden K.M., Garland T.R., Wildung R.E. 1988.** Organic constituents and complexation of nickel (II), iron (III), cadmium (II), and plutonium (VI) in soybean xylem exudates. *Plant Physiol*, 86, 734.

**Cecchi 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 National Polytechnique de Toulouse. 226 p.

**Colinet G. 2003** - Eléments traces métalliques dans les sols: contribution à la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse Belge. Thèse de doctorat, FUSA Gx, Gembloux, 442p.

**Coombs T. L. et George S. G. 1978.** Mechanisms of immobilisation and detoxification of metals in marine organisms. *Physiology and behaviour of marine organisms*. D. S. McLusky et A. J. Berry. Oxford, Pergamon Press: 179-187.

**Cutcheon Mc et Schnoor. 2003,** *Phytoremediation*. New Jersey, John Wiley & Sons. pg 898.

### D

**Dellaa Y. 2012.** Utilisation des végétaux dans l'approche écotoxicologique de la pollution atmosphérique de Constantine, Mémoire de Magister.44-49 ; 50 -57p.

**Dère C. 2006.** Mobilité et redistribution à long terme des éléments traces métalliques exogènes dans les sols: Application à des Luvisols pollués par 100 ans d'épandage d'eaux usées brutes dans la plaine de Pierrelaye. Thèse de doctorat de l'ENGREF, 124p.

**Ding A.F., Pan, G.X. 2003.** Contents of heavy metals in soils and Chinese cabbages from some urban vegetables fields around Nanjing and Human Health risks. *Ecol. Environ*, 12 (4): 409-411.

**Djebbar M., Bencheikh-Lehocine M., Bakalowicz M. et Meniai A.H. 2004.** Identification hydrogéochimique du karst hydrothermal constantinois (Algérie nord-orientale). *Sciences et Technologie*, 22, 133-140.

**Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A and Smith F. 1956.** Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Publication. *Anal. Chem.*, 28, 3, 350-356.F.

**Duchaufour P. 1977.** Précis de pédologie, Masson, Paris, pp 415-434.

**El Hade El Okki M. 2002.** Evaluation, par les lombriciens, de la pollution métallique (Cd, Cu, Pb et Zn) des sols des bords de l'oued Rhumel. Mémoire de Magistère en Ecologie et Ecotoxicologie, Université de Constantine, 91p.

## F

**Faez Mohamed A.E. 2012,** Modélisation de la répartition du transfert des métaux lourds et des oligoéléments dans les sols forestiers, l'huile d'argan et dans les différentes parties d'arganier. thèse de doctorat. Université Mohammed V-Agdal, , pp 42.

**Ferrandon M., Chamel. A 1989.** Absorption foliaire des oligo-éléments, *J. Perspectives Agricoles*. 134 (1989) 22-30.

**Fornasiero R.B. 2001.** Phytotoxic effects of fluoride. *Plant Science* 161, 979-985.

## G

**Garrec J P. 2007.** L'expertise technique et scientifique de référence. Laboratoire Pollution atmosphérique INRA – Centre de recherche de Nancy.

**Girard M.C., Walter C., Rémy J C., Bertelin J et Morel J L. 2005.** Sol et environnement : cours, exercices et études de cas. Ed : Dunod. 816pp.

**Gopal R et Rizvi A.H. 2008.** "Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish." *Chemosphere* 70(9): 1539-1544.

**Gratani L., Crescente M.F. et Varone L. 2008.** Long-term monitoring of metal pollution by urban trees, *Atmospheric Environment*, 42, p.8273-8277.

**Guessoum A. 2001.** L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada Biskra., Thèse ing, Agro, Univ Batna., 50 P.

## H

**Hazelton and Murphy. 2007.** Interpreting soil test results. What do all the numbers mean CSIRO Publishing, Victoria.

**Hellmann H., Funck D., Rentsch D. et Frommer W.B. 2000.** Hypersensitivity of an arabidopsis sugar signaling mut toward exogenous proline application. *Plant Physiology* 122, 357-367.

## I

**Impens R. 1974. 1980.** Présence de plomb dans l'environnement *Annales de Gembloux*, 80 : 173-185.

**Impens R., Delcarte E., Mathy P. et Piert T. 1979.** Voies de transfert d'éléments traces non essentiels dans le système Sol Air Plante. *Bull. Soci. Belge de Pédologie. Gand*, pp. 311-323.

## J

**Juste C. 1994.** Matière organique et comportement des éléments traces dans le sol. Actes 4<sup>ème</sup> journée de l'analyse de la terre. GEMAS. Ed. Frontières. 5-15.

**Juste C. 1995.** Les micropolluants métalliques dans les boues résiduaire des stations d'épuration urbaines. Convention ADEME-INRA, ADEME (ed)., 209p.

## K

**Kabata-Pendias A. 2011** Trace Elements in Soils and Plants Fourth edition, Taylor & Francis; 338-339

**Kabata-Pendias A., Pendias, H. 1986.** Trace Elements in Soils land Plants, 6<sup>nd</sup> Ed. CRC Press, inc, USA: 1-315.

**Kabata-Pendias, A., Pendias H. 1992.** Trace Elements in Soi land Plants, 6<sup>nd</sup> Ed.

**Kadem D.E.D. 2005.** Evaluation et comportement des métaux lourds (Cd- Cr- Cu- Ni- Pb- Zn et Mn) dans les sols à vocation agricole et à végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique. (El-Hadjar-Annaba-Est Algérien). Influence de la végétation sur la dynamique de ces métaux. Thèse de doctorat. Université Mentouri de Constantine, pp 7,18.

**Kebiche M., Faycal A., Benabid C. 2001.** L'utilisation de la végétation comme bio-indicateur de la pollution fluorée dans la région de Sétif (Algérie). Université de Sétif (Algérie), Institut de Biologie, Département d'Écologie et Environnement. *Ann. Géo.*, n° 617, 2001, pages 90-101, © Armand Colin.

**Kosobrukhov A., Knyazeva I and Mudrik V. 2004.** "Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis." *Plant Growth Regulation* 42: 145-151.

**Kovalchuk I., Titov V., Hohn B. and Kovalchuk O. 2005.** "Transcriptome profiling reveals similarities and differences in plant responses to cadmium and lead." Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis 570(2): 149-161.

#### L

**Lagadic L., Caquet T., Amirad, J-C. et Ramade F. 1997.** Biomarqueurs en Ecotoxicologie. Aspects fondamentaux, Paris.

#### M

**Mac Kinney G. 1941.** Absorption of light by chlorophyll solution. J. Biol. Chem. 140, 315-322.

**Maizi N. 2013.** Caractérisation de la pollution plombique à l'aide des bio indicateurs végétaux : un lichen (*Ramalina farinacea*), une mousse (*Funaria hygrométrica*) et quelques espèces phanérogamiques dans la région d'Annaba (Algérie). Université Badji mokhtar- Annaba, pp31.

**Maizi N., Alioua A., Ali Tahar A., Semadi F., Fadel D. 2010.** Utilisation des végétaux inférieurs comme bio indicateurs de la pollution plombique d'origine automobile dans la région de Annaba (Algérie). J. Mater. Environ. Sci, 251-266.

**Maizi N. 2006.** Jumelage des bio indicateurs végétaux : (*Xanthoria parietina*) et (*Funaria hygrométrica*) aux réseaux de surveillance et de contrôle de la qualité de l'air Sama Safia dans la région de Annaba. Mémoire de Magister, Université d'Annaba. (2006) 176 p.

**Malone C. , Koeppe D.E., Miller R.J. 1974.** Localization of lead accumulated by corn plants, plant physicol, 53, 388.

**Marcos L. 2001.** Etude expérimentale et modélisation du transfert du zinc et du plomb dans des milieux sableux modèles. Thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur, Université de Nantes, 281p.

**Martinez CE., Motto HL. 2000.** Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. Environmental Pollution 107: 153-158.

**Mebarki A. 2005.** Hydrologie des bassins versants de l'est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri-Constantine. 360p.

**Mikac N., Kwokal Z., Martincic D. and Branica M. 1996.** "Uptake of mercury species by transplanted mussels *Mytilus galloprovincialis* under estuarine conditions (Krka river estuary)." Science of the Total Environment 184: 173-182.

**Mishra S., Srivastava S., Tripathi R.D., Govindarajan R., Kuriakose S.V., Prasad M.N.V. 2006.** Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L[lozenge]. Plant Physiology and Biochemistry 44, 25-37.

**Monneveux PH., Nemmar M. 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre et le blé dur ; étude de l'accumulation de la proline au cours de cycle de développement. *Agronomie* 6. 583-590 pp.

**Morel J.L., Bitton G., Schwartz C., Schiavon M. 1996.** Bioremediation of soils and waters contaminated by micropolluants: which role for plants In: *Ecotoxicology: Responses, Biomarkers and Risk Assessment*, Chapter 4, OECD Workshop. Zelikoff J.T (ed). SOS Publications, Fair Haven, NJ. USA, 37-74.

## O

**OFEFP. 1996.** Sols pollués-métaux lourds et plantes bioindicatrices. Documents Environnement n° 58, Sol, Berne, Suisse. 1996.

**Ouahrani G. et Gheribi-Aoulmi Z. 2007.** Apport des lombriciens à l'estimation des éléments traces (Cd, Cu, Pb et Zn) des sols bordant l'oued Rhumel (Constantine). *Ecologia mediterranea* 33, 12, 73-84.

**Pais I and Benton J. 2000.** "The handbook of Trace Elements". Boca Raton, FL, St. Lucie Press 223 p.

**Pedelaborde P. 1991.** Introduction à l'étude scientifique du climat/Paris. 352 pages. pp.9-18.

**Perrono P. 1999.** Les micropolluants métalliques des boues de stations d'épuration urbaine et l'épandage agricole. Mém. D.U.E.S.S., D.E.P., Univ. Picardie, Amiens. *Perspective. RiskAnalysis* 1988; 8: 343-355.

**Prasad M.N.V., Hagemeyer J. 1999.** Heavy metal stress in plants. From molecules to ecosystems. eds..Springer. (1999) p 401.

## R

**Ruellan A. 1999.** The main rules of soil distribution in the Mediterranean world. In: Bech, j. *Extended Abstracts volume*, pp.31-32.

**Rzepka M-A et Cuny D. 2008.** Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques , *Air Pur* N° 75 - Deuxième semestre .

## S

**Sahli L. 2002.** Evaluation de la contamination par le cadmium, le plomb, le chrome et le manganèse dans les sédiments, les macroinvertébrés et une plante aquatique (*Roripa nasturtium aquaticum*) dans l'oued Rhumel et son affluent l'oued Boumerzoug en zone urbaine. Mémoire de Magistère, Université Mentouri-Constantine. 126 p.

**Sahli L., Afri-Mehennaoui F-Z, El Hadeff El Okki M., Blaise C., Mehennaoui S. 2011.** Spatial and seasonal variations and ecotoxicological significance of sediment trace metal

concentrations in Kebir-Rhumel basin (Northeast of Algeria). *Water Science & Technology* 64 (8) 1759-1766.

**Schulz-Baldes M. 1974.** "Lead uptake from seawater and food, and lead loss in the common mussel *Mytilus edulis*." *Mar. Biol* 25: 177-193.

**Schulz-Baldes M. 1977.** Lead transport in the common mussel *Mytilus edulis*. *Proc. Int. Conf., Heavy metals in the Environment*, natl. res. Council Can.

**Schwartz C. 1997.** Comportement de *Thlaspi caerulescens* dans les sols pollués système sol plante et potentiel dans la phytoremédiation des sols pollués. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France.

**Semadi A. et Deruelle S. 1993.** Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région d'Annaba (Algérie). *Pollution atmosphérique*, Octobre-Décembre, 86-102.

**Shaw A.J. 1990.** *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*, CRC Press Inc, Boca Raton, Fl, 355.

**Shu WS., Ye ZH., Lan CY., Zhang ZQ., Wong MH. 2001.** Acidification of lead/zinc mine tailing and its effects on heavy metal mobility. *Environment International* 26 (5-6): 389-394.

**SSDS-Soil survey Division Staff. 1993.** Examination and description of soils: In: *Soil survey Manual*. Agricultural Handbook 18, chapter 3.

**Steffens J.C. 1990.** Heavy metal stress and the phytocheletin response, in *Stress Response in plants : Adaptation and Acclimatation Mechanisms*, Wiley-Liss, Inc, 377.

**Stoffel M., Bollschweiler M., Butler D.R., Luckman B.H. 2010.** *Tree rings and natural hazards : a state of art*. Springer, Heidelberg, Berlin, New York, 505 p.

**Sungmin H., Candelone J. P., Patterson C. C., Boutron C. F. 1994.** Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution two millenia ago by Greek and Roman civilizations, *Science*, vol. 265, p. 1841-1843.

**Swaine DJ., 1986.** *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer Verlag, New York.

## T

**Troll Wet Lindsley J. 1955.** A photometric methods for the determination of proline. *J. Biol.Chem.*, 215, 655-660.

## V

**Van wesemael B. 2006.** Les teneurs en matière organique dans les sols en région Wallonne. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement Wallon.

## W

**Walkley A. and Black I. A. 1934.** An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.

**Wang W.X. et Fisher N. S. 1996.** "Assimilation of trace elements and carbon by the mussel *Mytilus edulis*: effects of food composition." *Limnol. Oceanogr.* 41: 197-207.

**White M.C., Baker F.D., Chaney R.L., Decker A.M. 1981.** Metal complexation in xylem fluid : II Theoretical equilibrium model and computational computer program, *Plant physiol*, 67, 301.

**Wierzbicka M. 1999.** "Comparison of lead tolerance in *Allium cepa* with other plant species." *Environmental Pollution* 104(1): 41-52.

**Wierzbicka M and Obidzinska J. 1998.** "The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species." *Plant Science* 137(2): 155-171.

## X

**Xiong Z., Zhao F., and Li M. 2006.** "Lead toxicity in *Brassica pekinensis* Rupr.: Effect on nitrate assimilation and growth." *Environmental Toxicology* 21(2): 147-153.

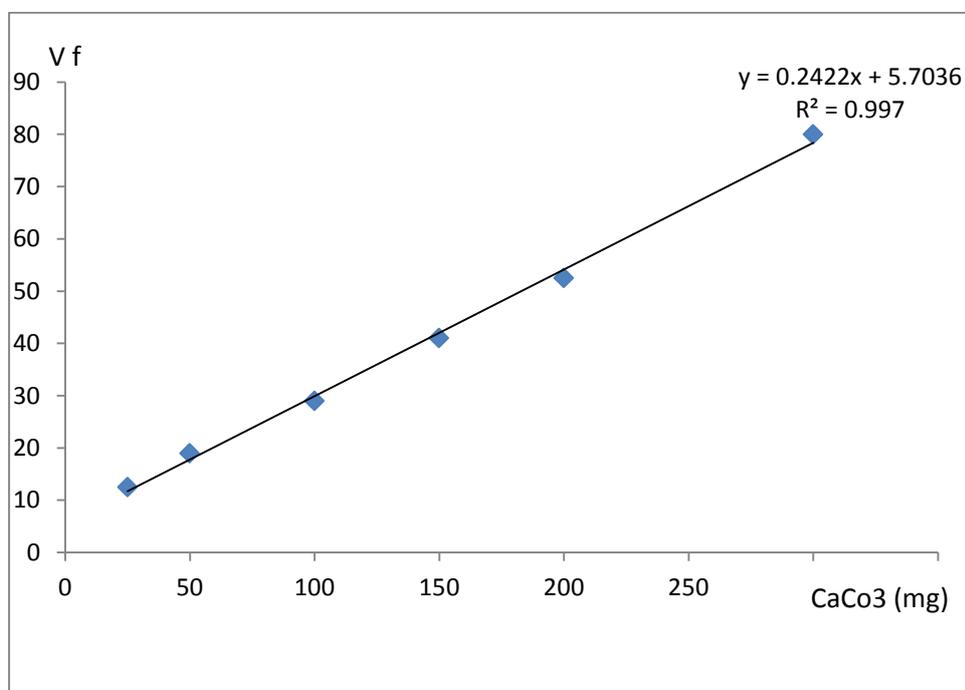
## Z

**Zwickert F. 1992.** Etude de la contamination des légumes par le plomb. Mémoire de diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université Louis Pasteur de Strasbourg.

# ANNEXES

## Annexe 1

Courbe d'étalonnage du calcaire total.



**UTILISATION DES ARBRES DES BORDS DES ROUTES COMME  
INDICATEURS DE POLLUTION PAR LE PLOMB : CAS DU *CUPRESSUS  
FASTIGIATA*.**

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en pollution des écosystème  
et Ecotoxicologie.

La pollution atmosphérique de proximité par le plomb est un sujet de préoccupation récent. De nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des végétaux, comme bio-indicateurs et bio-accumulateurs de la pollution plombique. Ces derniers sont considérés comme des outils de grand intérêt pour la biosurveillance.

Dans ce contexte, quatre points de prélèvements ont été retenus le long d'un axe routier à circulation intense ; il s'agit de la route nationale N°03 reliant B'kira à Constantine. Plusieurs prélèvements de sols et de *cupressus fastigiata* ont été réalisés le long de cet axe routier. En parallèle, des prélèvements ont été effectués dans une zone témoin éloignée de toute source de contamination, il s'agit de l'arboretum Draa Naga situé à Djbel el Ouahch.

Les prélèvements ont concerné le sol (0-20 cm), le feuillage et l'écorce de *cupressus fastigiata*. Plusieurs paramètres ont été déterminés : pH, conductivité électrique, calcaire total, matière organique et teneurs en plomb pour le sol. Pour la végétation, nous avons dosés plusieurs marqueurs biochimiques révélateurs de stress (chlorophylle, proline, et sucres solubles), en plus de la quantification des teneurs en plomb dans les feuilles lavées, non lavées et l'écorce de l'espèce en question.

Les résultats ont révélé un enrichissement en plomb relativement important. Les teneurs en plomb dans le sol dépassent largement les concentrations naturelles. Le Cyprès fastigié semble être un bon indicateur de la contamination par le plomb. Les teneurs en plomb enregistrent l'ordre d'abondance suivant : écorce > feuilles lavées > feuilles non lavées. Des perturbations ont également été enregistrées pour les marqueurs biochimiques. En effet, les teneurs en proline enregistrées en milieu anthropisé sont largement supérieures à celle de la zone témoin.

**Mots clés :** plomb, sol, *Cupressus fastigiata*, marqueurs biochimiques

**Laboratoire de recherche :** Biologie et Ecologie.

Jury d'évaluation :

**Président du jury :** AFRI-MEHENNAOUI F-Z (MCA - UFM Constantine).

**Rapporteur :** SAHLI L (MCA - UFM Constantine).

**Examineur :** BAZRI KED (MCA - UFM Constantine).

**Date de soutenance :** 22/06/2016