

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
المعهد الوطني للعلوم الفلاحية - الحراش - (الجزائر)  
INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE - EL-HARRACH (ALGER)

## Thèse

En Vue de l'Obtention du Doctorat d'Etat  
En Sciences Agronomiques

Par

Mohammed RAHALI

# ETUDE DE LA POLLUTION PLOMBIQUE ET GLOBALE DANS LA REGION D'ALGER, EN UTILISANT LES LICHENS COMME INDICATEURS BIOLOGIQUES



Soutenue le 24 / 06 / 2003

Devant le jury :

**Président :** Mr. Z. Bouznad (Professeur à l'Institut National Agronomique)  
**Rapporteur :** Mr. A. Semadi (Professeur à l'Université d'Annaba)  
**Co rapporteur :** Mr. S. Déruelle (Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6))  
**Examineurs :** M<sup>me</sup>. C. Van Haluwyn (Professeur à la Faculté de Pharmacie – Université de Lille II)  
Mr. M. Saouthi (Professeur de Toxicologie)  
Mr. R. Kerbachi (Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique)

**Invitée :** M<sup>me</sup>. M.A. Letrouit (Directeur de Recherche au C.N.R.S. et Responsable de l'Equipe de Lichénologie - CNRS – URA 258 - Institut d'Ecologie – Université Pierre et Marie Curie (Paris 6))

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	p. 11
INTRODUCTION GENERALE .....	p. 13

### 1<sup>ère</sup> PARTIE

#### PRESENTATION DE LA REGION D'ALGER

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA REGION ETUDIEE .....	p. 16
1-Situation géographique.....	p. 16
2-Géologie .....	p. 16
3-La végétation naturelle de la région d'Alger .....	p. 19
3-1-Maquis à Oleo Lentisque.....	p. 19
3-2-Matoral à <i>Pinus halepensis</i> .....	p. 19
3-3- <i>Quercus suber</i> .....	p. 20
3-4- <i>Pinus pinaster</i> .....	p. 20
4-La végétation exotique.....	p. 20
5-Climat de la région d'Alger .....	p. 22
5-1-Les précipitations .....	p. 23
5-2-Les températures .....	p. 23
5-2-1-Les températures maximales.....	p. 23
5-2-2-Les températures minimales .....	p. 23
5-2-3-Les températures moyennes.....	p. 23
5-3-L'humidité relative .....	p. 26
5-4-Les vents .....	p. 26
5-5-Synthèse climatique.....	p. 26
6-Urbanisation et trafic routier .....	p. 29
6-1-Urbanisation .....	p. 29
6-2-Trafic routier .....	p. 29

## 2<sup>ème</sup> PARTIE

# GENERALITES SUR LA POLLUTION PLOMBIQUE ET LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE GLOBALE

<b>CHAPITRE 2 : LA POLLUTION PLOMBIQUE</b> .....	p. 32
<b>1-Le plomb dans l'environnement</b> .....	p. 32
1-1-Chronologie des diverses utilisations du plomb .....	p. 32
1-2-Le cycle du plomb .....	p. 34
1-3-Principales sources de la pollution par le plomb.....	p. 36
1-3-1-Pollution d'origine naturelle .....	p. 36
1-3-1-1-Variation des concentrations de plomb dans les glaces anciennes au cours du dernier cycle climatique.....	p. 36
1-3-1-2-Variation des concentrations de plomb dans les glaces pendant la période gréco-romaine et l'époque médiévale .....	p. 37
1-3-1-3-Variation des concentrations de plomb depuis la révolution industrielle à nos jours.....	p. 37
1-3-2-Pollution par le plomb d'origine anthropique.....	p. 40
1-3-2-1-Pollution par le plomb due aux industries et aux mines .....	p. 41
1-3-2-2-Pollution par le plomb d'origine automobile.....	p. 42
1-3-2-3-Modèles de dispersion des particules de plomb atmosphérique.....	p. 47
1-3-2-4-Teneur en plomb des poussières urbaines .....	p. 48
<b>2-Le plomb et les lichens</b> .....	p. 48
2-1-Historique.....	p. 48
2-2-Accumulation du plomb d'origine industrielle par les lichens .....	p. 50
2-3-Accumulation du plomb d'origine automobile par les lichens .....	p. 51
2-3-1-Lichens et plomb des zones urbaines .....	p. 51
2-3-2-Lichens et plomb des routes et des autoroutes.....	p. 57
2-3-3-Lichens et plomb à l'échelle régionale.....	p. 58
<b>3-Accumulation du plomb par les mousses</b> .....	p. 60
3-1-Historique.....	p. 60
3-2-Accumulation du plomb par les mousses indigènes.....	p. 61

3-2-1-Etudes anciennes de la pollution plombique régionale avec les mousses .....	p. 61
3-2-2-Etude de la Pollution plombique régionale pendant les dernières décennies en utilisant les mousses comme bioindicateurs .....	p. 62
3-2-3-Accumulation du plomb chez les mousses autour des industries et des mines.	p.64
3-3-Transplantation des mousses pour estimer la pollution en plomb .....	p. 65
3-3-1-Techniques de transplantation des mousses .....	p. 65
3-3-2-Aperçu des résultats obtenus par cette méthode .....	p. 65
<b>4-Le plomb et les végétaux supérieurs</b> .....	p. 66
4-1-Absorption du plomb par les racines .....	p. 66
4-2-Accumulation du plomb chez les plantes supérieures .....	p. 69
4-2-1-Interception des particules de plomb par les plantes .....	p. 70
4-2-2-Accumulation du plomb chez les plantes herbacées .....	p. 70
4-2-3-Accumulation du plomb chez les arbres .....	p. 71
4-2-4-Accumulation du plomb dans les fruits et les légumes. ....	p. 73
<b>5-Le plomb et les animaux</b> .....	p. 76
5-1-Accumulation du plomb chez les vertébrés .....	p. 76
5-2-Accumulation du plomb chez les invertébrés .....	p. 78
5-3-Les effets du plomb sur les animaux .....	p. 79
5-3-1-Les sites de fixation du plomb dans les tissus et les cellules.....	p. 79
5-3-2-Tolérance et sensibilité au plomb chez les animaux .....	p. 79
5-3-3-Les effets du plomb sur les organites cellulaires.....	p. 80
5-3-3-1-Les membranes cellulaires .....	p. 81
5-3-3-2-Les mitochondries .....	p. 81
5-3-3-3-Les lysosomes .....	p. 81
5-3-3-4-Le réticulum endoplasmique .....	p. 81
5-3-3-5-Le noyau .....	p. 82
5-3-4-Le plomb et les protéines.....	p. 82
5-3-5-Les effets du plomb sur les acides nucléiques.....	p. 83
<b>6-Le plomb et l'homme</b> .....	p. 83
6-1-Les sources d'exposition au plomb.....	p. 83
6-1-1-Les sources d'exposition professionnelle .....	p. 84
6-1-2-Les sources d'exposition non professionnelle.....	p. 84
6-1-2-1-L'air .....	p. 84
6-1-2-2-L'eau .....	p. 85

6-1-2-3-Les aliments .....	p. 85
6-2-Les voies de pénétration du plomb .....	p. 86
6-2-1-Voie digestive .....	p. 86
6-2-2-Voie respiratoire .....	p. 86
6-3-Distribution du plomb dans l'organisme .....	p. 88
6-3-1-Le sang et la plombémie.....	p. 88
6-3-2-Les tissus mous .....	p. 89
6-3-3-Les tissus osseux.....	p. 89
6-4-Elimination du plomb .....	p. 90
6-5-Effets du plomb sur l'homme .....	p. 90
6-6-Les normes : valeurs limites dans l'environnement.....	p. 91
6-6-1-L'air .....	p. 91
6-6-2-L'eau.....	p. 92
6-6-3-Les aliments.....	p. 92
<b>7-Le plomb et le sol .....</b>	<b>p. 92</b>
7-1-Plomb d'origine naturel .....	p. 92
7-2-Pollution du sol par le plomb.....	p. 93
7-2-1-Pollution du sol par le trafic automobile au niveau des routes .....	p. 93
7-2-2-Pollution du sol par les mines et les usines .....	p. 94
7-2-3-Migration du plomb dans le sol .....	p. 95
7-2-4-Les effets du plomb sur le sol.....	p. 97
<b>8-Facteurs écologiques et écophysiologiques en relation avec</b>	
<b>la pollution plombique chez les lichens.....</b>	<b>p. 97</b>
8-1-Facteurs internes .....	p. 97
8-1-1-L'âge du thalle.....	p. 97
8-1-2-Variations individuelles.....	p. 97
8-1-3-Variations interspécifiques .....	p. 98
8-2-Facteurs climatiques .....	p. 98
8-2-1-Les précipitations.....	p. 99
8-2-2-L'humidité .....	p. 99
8-2-3-La température.....	p. 99
8-2-4-Le vent.....	p. 99
8-3-Facteurs topographiques .....	p. 100
8-4-Les mécanismes de la bioaccumulation du plomb.....	p. 100

8-4-1-Les effets du plomb sur le développement des lichens .....	p. 101
8-4-2-Les effets du plomb sur la photosynthèse des lichens .....	p. 102
8-4-3-Les effets du plomb sur la respiration des lichens.....	p. 103
8-4-4-Localisation cellulaire du plomb .....	p. 103
8-4-5-Tolérance des lichens au plomb .....	p. 104

### **CHAPITRE 3 : LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE GLOBALE**

.....	p. 106
<b>1-Les effets de la pollution atmosphérique sur les lichens</b> .....	p. 106
1-1-Historique.....	p. 106
1-2-Pollution urbaine et lichens.....	p. 107
1-2-1-L'effet du SO <sub>2</sub> .....	p. 108
1-2-2-Les effets des oxydes d'azote (NOx).....	p. 108
1-2-3-Les effets d'autres polluants urbains (ozone et PAN).....	p. 109
1-3-Les différentes méthodes permettant l'estimation de la pollution atmosphérique par les lichens.....	p. 109
1-3-1- Méthode des transects.....	p. 109
1-3-2-Cartes de répartitions des espèces .....	p. 110
1-3-3-Méthodes qualitatives et échelles de pollution.....	p. 110
<b>2-Etude de la pollution atmosphérique globale</b> .....	p. 111
2-1-Le concept de l'indice de pureté atmosphérique (I.P.A.) .....	p. 111
2-2-Etude de la couverture des épiphytes.....	p. 115
2-3-Cartographie des zones d'isopollution.....	p. 115
2-4-Modification et introduction de certains paramètres de l'I.P.A.....	p. 116
2-4-1-Appréciation du coefficient (f) .....	p. 116
2-4-2-L'influence du substrat .....	p. 117
2-5-Analyse critique du problème d'échantillonnage .....	p. 118
2-5-1-Choix des arbres .....	p. 118
2-5-2-Les limites du relevé lichénique .....	p. 118
2-6-Critique et limite de l'utilisation de la méthode de l'I.P.A.....	p. 119
2-7-Relation entre de la méthode de l'I.P.A. et la pollution acide mesurée par les capteurs.....	p. 121
2-8-Les applications de la méthode de l'I.P.A. ....	p. 121
2-9-Résistance et sensibilité des espèces lichéniques à la pollution .....	p. 123

### 3<sup>ème</sup> PARTIE

## LA POLLUTION PLOMBIQUE DANS LA REGION D'ALGER

### CHAPITRE 4 : ACCUMULATION DU PLOMB PAR LES

<b>TRANSPLANTS LICHENIQUES</b> .....	p. 126
<b>1-Matériel et méthodes</b> .....	p. 126
1-1-La technique des transplantations de lichens .....	p. 126
1-1-1-Méthodologie de la transplantation lichénique .....	p. 126
1-1-2-Intérêts de la transplantation lichénique .....	p. 127
1-1-3-Technique utilisée dans la région d'Alger .....	p. 129
1-1-3-1-Prélèvement des échantillons .....	p. 129
1-1-3-2-Sites de prélèvement .....	p. 129
1-1-3-3-Lieux de transplantation .....	p. 131
1-1-3-4-Date et durée des transplantations .....	p. 132
1-1-3-5-Récolte des échantillons .....	p. 132
1-2-Détermination de la teneur en plomb des lichens .....	p. 135
1-2-1-Préparation des échantillons .....	p. 135
1-2-2-Minéralisation des échantillons .....	p. 135
1-2-3-Dosage du plomb .....	p. 136
<b>2-Teneur en plomb des échantillons lichéniques témoins</b> .....	p. 137
<b>3-Teneur en plomb des lichens transplantés <i>Ramalina duriaei</i></b> <b>et <i>Parmelia scortea</i> au niveau des mailles</b> .....	p. 137
3-1-Présentation des résultats .....	p. 137
3-2-Accumulation du plomb dans l'espace .....	p. 137
3-2-1-Chez <i>Ramalina duriaei</i> .....	p. 137
3-2-2-Chez <i>Parmelia scortea</i> .....	p. 137
3-2-3-Relation entre l'accumulation du plomb et la circulation automobile .....	p. 137
3-3-Accumulation du plomb au cours du temps .....	p. 140
3-3-1-Analyse de l'accumulation du plomb au niveau de quelques sites particuliers .....	p. 140
3-3-2-Analyse statistique des résultats obtenus .....	p. 140
3-3-3-Rapport d'accumulation temporelle des thalles .....	p. 144

3-3-4-Variation de la vitesse d'accumulation du plomb .....	p. 144
3-3-5-Accumulation et exsorption .....	p. 148
3-3-5-1-Accumulation positive .....	p. 147
3-3-5-2-Périodes d'accumulation négative ou exsorption.....	p. 153
3-3-5-3-Explication du phénomène d'exsorption.....	p. 157
<b>4-Accumulation du plomb au niveau des transects des autoroutes .....</b>	<b>p. 158</b>
4-1-Accumulation du plomb chez les transplants lichéniques de <i>Parmelia scortea</i> et de <i>Ramalina duriaei</i> au niveau de l'autoroute de l'Est .....	p. 158
4-1-1-Accumulation du plomb chez <i>Parmelia scortea</i> .....	p. 159
4-1-2-Accumulation du plomb chez <i>Ramalina duriaei</i> .....	p. 159
4-2-Accumulation du plomb chez les transplants lichéniques de <i>Parmelia scortea</i> et de <i>Ramalina duriaei</i> au niveau de l'autoroute du Sud .....	p. 161
4-2-1-Accumulation du plomb chez <i>Parmelia scortea</i> .....	p. 163
4-2-2-Accumulation du plomb chez <i>Ramalina duriaei</i> .....	p. 163
4-3-Accumulation du plomb chez les transplants lichéniques de <i>Ramalina duriaei</i> et de <i>Parmelia scortea</i> au niveau de la rocade des Annassers .....	p. 165
4-3-1-Accumulation du plomb chez <i>Parmelia scortea</i> .....	p. 165
4-3-2-Accumulation du plomb chez <i>Ramalina duriaei</i> .....	p. 167
4-4-Comparaison des résultats avec ceux des autres auteurs .....	p. 167
4-4-1-Chez <i>Parmelia scortea</i> .....	p. 167
4-4-2-Chez <i>Ramalina duriaei</i> .....	p. 169
 <b>CHAPITRE 5 : ACCUMULATION DU PLOMB PAR LES LICHENS <i>IN SITU</i> .....</b>	 <b>p. 171</b>
<b>1-Chez <i>Ramalina duriaei</i> .....</b>	<b>p. 171</b>
1-1-Présentation des résultats.....	p. 171
1-2-Comparaison avec les transplants.....	p. 171
<b>2-Chez <i>Xanthoria parietina</i> .....</b>	<b>p. 172</b>
2-1-Accumulation du plomb par <i>Xanthoria parietina</i> au niveau des mailles .....	p. 174
2-2-Accumulation du plomb par <i>Xanthoria parietina</i> en fonction de la distance de la route au niveau du Jardin du Hamma .....	p. 175
2-3-Variation de l'accumulation du plomb chez <i>Xanthoria parietina</i> au cours du temps.....	p. 176



**CHAPITRE 6 : ACCUMULATION DU PLOMB PAR  
LES ECORCES D'OLIVIER** ..... p. 179

**1-Mesure de l'accumulation du plomb des écorces** ..... p. 179

1-1-Prélèvement des écorces ..... p. 180

1-2-Dosage du plomb accumulé ..... p. 180

**2-Résultats obtenus** ..... p. 180

**3-Analyse des résultats et discussion** ..... p. 180

3-1-Accumulation du plomb sur les sites étudiés ..... p. 180

3-1-1-Accumulation du plomb dans les différentes mailles ..... p. 179

3-1-2-Accumulation du plomb sur le transect de l'autoroute de l'Est ..... p. 183

3-2-Comparaison de l'accumulation du plomb par les écorces d'olivier  
et par les lichens ..... p. 183

3-2-1-Cas des transplants lichéniques (*Ramalina duriaei* et *Parmelia scortea*) ..... p. 187

3-2-2-Cas des lichens *in situ* (*Xanthoria parietina*) ..... p. 188

3-3-Influence des facteurs environnementaux ..... p. 188

3-3-1-Analyse multidimensionnelle de l'accumulation du plomb en relation  
avec les conditions écologiques du site ..... p. 189

3-3-1-1-Problématique ..... p. 189

3-3-1-2-Résultats des analyses factorielles des correspondances (A.F.C.M.) ..... p. 191

3-3-2-Relation entre l'accumulation du plomb et l'altitude ..... p. 209

3-3-3-Relation entre l'accumulation du plomb et l'I.P.A. .... p. 210

3-3-4-Relation entre l'accumulation du plomb et la distance à la  
voie de circulation ..... p. 212

3-3-4-1-Cas des autoroutes et des routes à grande circulation ..... p. 212

3-3-4-2-Cas des routes principales et secondaires ..... p. 213

3-3-5-Relation entre l'accumulation du plomb et l'urbanisation ..... p. 215

3-3-6-Relation entre l'accumulation du plomb et la couverture végétale ..... p. 216

**CHAPITRE 7 : CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION**

**PLOMBIQUE DANS LA REGION D'ALGER** ..... p. 218

**1-Technique utilisée** ..... p. 218

**2-Analyse et commentaires** ..... p. 220

## 4<sup>ème</sup> PARTIE

### ETUDE DE LA POLLUTION GLOBALE DANS LA REGION D'ALGER

<b>CHAPITRE 8 : INVENTAIRE DE LA FLORE LICHENIQUE DE LA REGION D'ALGER</b> .....	p. 225
1-Cartes utilisées pour l'inventaire des espèces .....	p. 225
2-Méthode d'échantillonnage .....	p. 225
3-Détermination des échantillons lichéniques .....	p. 226
4-Liste des espèces rencontrées .....	p. 226
5-Etablissement des cartes de répartition des espèces .....	p. 228
6-Analyse des résultats et discussion .....	p. 228
<b>CHAPITRE 9 : CARTE DE LA POLLUTION GLOBALE DE LA REGION D'ALGER ETABLIE PAR LA METHODE DE L'I.P.A.</b> .....	p.237
1-Choix des stations et des phorophytes .....	p. 237
2-Technique des relevés de la végétation lichénique.....	p. 238
3-Calcul de l'I.P.A. et présentation des résultats.....	p. 240
4-Détermination des zones d'isopollution .....	p. 240
4-1-Etablissement de la zonation.....	p. 241
4-2-Réalisation de la carte.....	p. 241
5-Analyse des résultats et discussion .....	p. 247
5-1-Commentaire de la carte de pollution.....	p. 247
5-2-Mise en évidence d'un désert lichénique à Alger .....	p. 249
5-3-Corrélation entre l'I.P.A. et les paramètres écologiques .....	p. 249
5-4-Sensibilité et résistance à la pollution des espèces lichéniques de la région d'Alger.....	p. 252
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	p. 255
Liste des figures .....	p. 257
Liste des tableaux .....	p. 260
Liste des abréviations.....	p. 263
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	p. 265