

# Cartographie de la pollution plombique dans la région d'Alger en utilisant un lichen (*Xanthoria parietina*) comme bioaccumulateur

## Mapping of lead pollution in Algiers area with a lichen (*Xanthoria parietina*) as indicator

Mohammed RAHALI\*

### Résumé

L'étude de la pollution atmosphérique d'origine automobile de la région d'Alger a été réalisée au niveau de 32 sites. La teneur en plomb des thalles de *Xanthoria parietina* (moyenne des mesures réalisées en été et en hiver) nous a permis d'établir une carte de pollution par le plomb à quatre niveaux (inférieur à 80 µg/g, 80 à 160 µg/g, 160 à 320 µg/g, et supérieur à 320 µg/g). Par ailleurs, l'étude montre que la teneur en plomb dans les thalles de *Xanthoria parietina* est relativement plus élevée en hiver qu'en été au niveau de la plupart des sites étudiés.

L'analyse statistique des données montre que l'accumulation du plomb par le lichen est en relation directe avec l'intensité du trafic routier et la distance de la route.

### Abstract

The study of atmospheric pollution induced by vehicles traffic in Algiers area was carried out in 32 sites. The content of lead in thallus of *Xanthoria parietina* (average valuation in summer and winter) allowed us to draw up a map of lead pollution with four levels (less than 80 µg/g, 80-160 µg/g, 160-320 µg/g, and more than 320 µg/g). The study showed that the content of lead in *Xanthoria parietina* is relatively higher in winter than in summer in most of the sites studied. The statistical analysis of data showed that the accumulation of lead by the lichen is in correlation with the density of road traffic and the distance from the road.

### Introduction

Les recherches appliquées à la pollution plombique, en utilisant les végétaux comme bioaccumulateurs, se sont multipliées depuis une trentaine d'années. L'accumulation du plomb par les végétaux a été détectée pour la première fois en Finlande [1].

Depuis, de nombreux travaux ont montré l'existence d'une relation entre l'accumulation du plomb par les plantes supérieures puis par les lichens et la proximité des voies de circulation. Nous pouvons

citer les travaux de Seaward [2] en Grande-Bretagne, de Saeki et al. [3] au Japon, de Garty et al. [4] en Israël, de Hopp et Tolz [5] en Allemagne, de Lawrey et Hale [6] puis de Walther et al. [7] aux États-Unis, de Takala et Olkkonen [8] en Finlande, et de Déruelle [9-12] en France. Garty [13] puis Bargagli [14] ont réalisé une synthèse de ces recherches sur la pollution plombique. Plus récemment Garty [15] a publié un important article concernant l'utilisation des lichens comme bioaccumulateurs des métaux lourds, parmi lesquels le plomb.

L'estimation de la pollution plombique en utilisant les lichens comme bioaccumulateurs a été réalisée pour la première fois en Algérie par Semadi [16] et Semadi et Déruelle [17] dans la région de Annaba.

\* École Normale Supérieure d'Alger, BP 92, Kouba, Alger, Algérie.

L'adjonction de plomb dans l'essence, qui varie entre 0,5 et 0,6 g/l selon la réglementation algérienne [18] est à l'origine de rejets atmosphériques (gaz d'échappement) importants. L'absence totale de capteurs pour l'estimation de la pollution par le plomb au niveau de l'agglomération d'Alger nous a amené à évaluer la quantité de retombées atmosphériques en utilisant un lichen, le *Xanthoria parietina*, se développant naturellement dans de nombreux sites de la région d'Alger.

## Matériel et méthodes

### Récolte des lichens

#### Présentation de la zone étudiée

La zone étudiée est située au centre du littoral de l'Algérie (Figure 1). Elle est délimitée entre les latitudes 2° 58' et 3° 12' Est et les longitudes 36° 43' et 36° 49' Nord. Elle s'étend sur une surface de 120 km<sup>2</sup> environ. Du point de vue topographique, la région d'Alger est caractérisée par un relief hétérogène. La partie Est qui comprend Fort de l'eau, El Harrach, Hussein Dey et Belcourt est plane (altitude entre 0 et 100 m). Par contre, le massif de Bouzaréa, culminant à 400 m d'altitude, et les

versants Est et Nord de ce massif sont très accidentés. La partie centrale de la région d'étude correspond à un plateau (altitude entre 100 et 200 m) recoupé par un réseau de talwegs profonds et visibles à Hydra et Birmouradrais. Enfin, la grande partie de l'Ouest et du Sud de la région est représentée par des plans plus ou moins horizontaux (plateaux, piémont), dont l'altitude varie entre 200 et 300 m.

#### Climat de la région d'Alger

Le climat d'Alger, comme tous les climats méditerranéens est caractérisé par une grande variabilité inter-annuelle des précipitations et températures. Les moyennes annuelles des précipitations varient entre 683 mm, enregistrées au niveau de la station du port d'Alger, et 787 mm au niveau de la station de Bouzaréa. Les températures moyennes annuelles sont respectivement de l'ordre de 19,2 °C et 16,5 °C au niveau des mêmes stations. Du point de vue bioclimatique, la région d'Alger se situe à l'étage sub-humide à hiver chaud selon la classification d'Emberger [19], et la période sèche de Gaussen et Bagnouls [20] s'étend du début du mois de mai jusqu'à la fin du mois de septembre.

L'humidité relative annuelle varie entre 72 % au mois d'août et 80 % au mois de janvier. Enfin, l'analyse

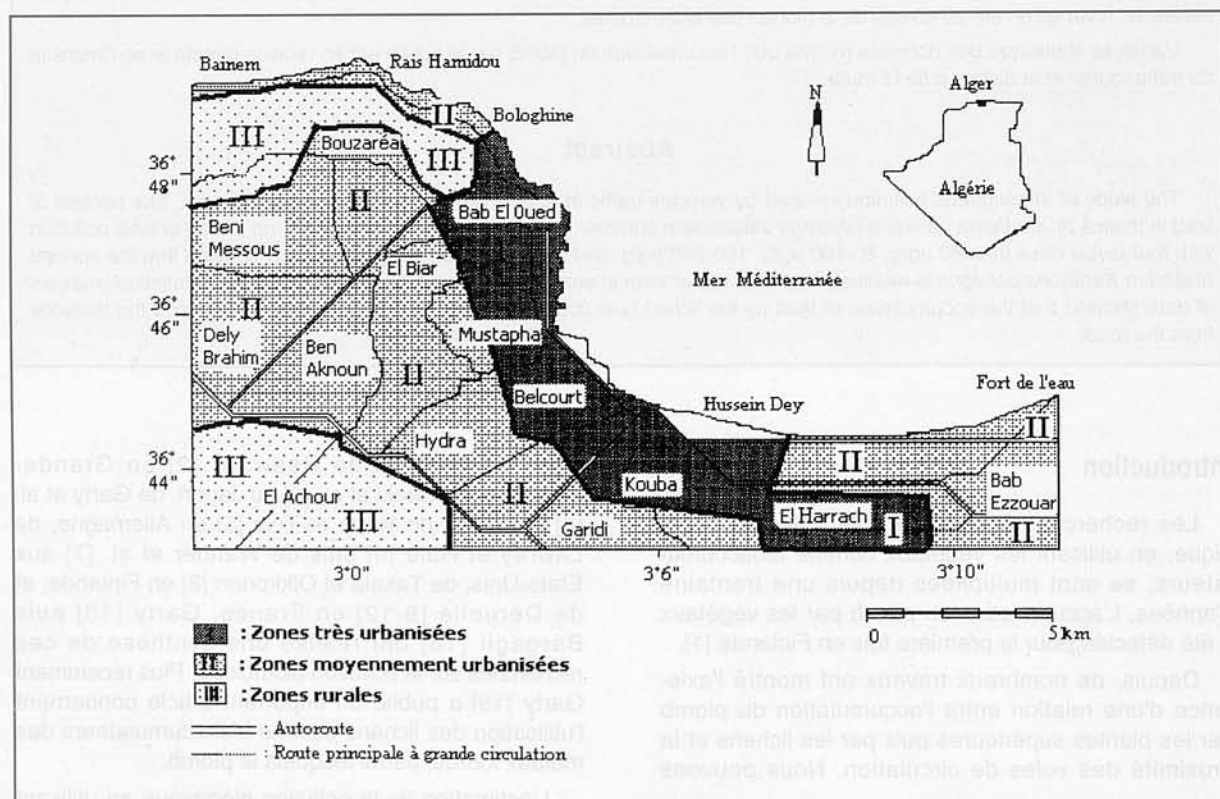


Figure 1.  
Zones d'étude au niveau de la région d'Alger.  
Zones studied in Algiers region.

du régime des vents montre une prépondérance des vents de secteur ouest au mois de janvier. En revanche, au mois de juillet la direction des vents est variable : Nord, Nord-Est et parfois Ouest et Sud-Ouest.

#### Sites de prélèvement

Les sites étudiés ont été repérés au moyen de :

- la carte topographique de la région d'Alger au 1/25000, publiée par l'Institut de Géographie National (IGN, 1960) ;
- la carte des rues d'Alger au 1/7500, dressée par l'Institut National de Cartographie (INC, 1993).

La première carte est découpée en unités de repérage international (grades) avec un intervalle de 0,05 grades entre les méridiens et les parallèles. Pour plus de précision de délimitation des sites et de cartographie de la pollution plombique, ultérieurement ces mailles ont été divisées en deux. On obtient ainsi une carte en grille (ou réseau) selon le modèle de Cartan [21]. Chaque maille correspond à un rectangle ( $2 \times 2,5$  km) où sont notés les sites (Figure 2). La carte des rues d'Alger nous a servi à repérer avec une grande précision les plantations d'arbres, les parcs et les jardins publics où sont prélevés les échantillons lichéniques.

#### Récolte des échantillons

Les échantillons de *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. ont été récoltés sur 32 sites dispersés dans la région d'Alger (sites 1 à 32) représentés dans la figure 2 et sur 4 autres sites le long d'un transect (voir Figure 3, p. 424) à l'intérieur du jardin d'essai du Hamma et à différentes distances de la chaussée (sites 33 à 36).

D'une manière générale une récolte a été effectuée dans chaque maille, sauf pour les mailles c3, d2, e1, g1, i1 et j1, où deux ou trois sites ont été analysés (Figure 2).

Les thalles de 5 cm de diamètre ont été prélevés à l'aide d'un cutter sur le tronc d'oliviers (*Olea europea*) à 1,5 m du sol, toujours face nord. La quantité récoltée est de l'ordre de 0,4-0,5 g de matière sèche. Les échantillons sont conservés dans des sacs en papier portant toutes les indications nécessaires, notamment la date et le site de prélèvement, puis sont transportés au laboratoire.

Au niveau de chaque site, des prélèvements ont été effectués en hiver (18-01-1993) et en été (15-08-1992), exactement sur le même phorophyte, sauf pour les échantillons des sites 33 à 36 où un seul prélèvement en été a été réalisé le 5-08-1992.

Les échantillons témoins ont été prélevés au niveau du maquis de Zemouri (50 km à l'est d'Alger)

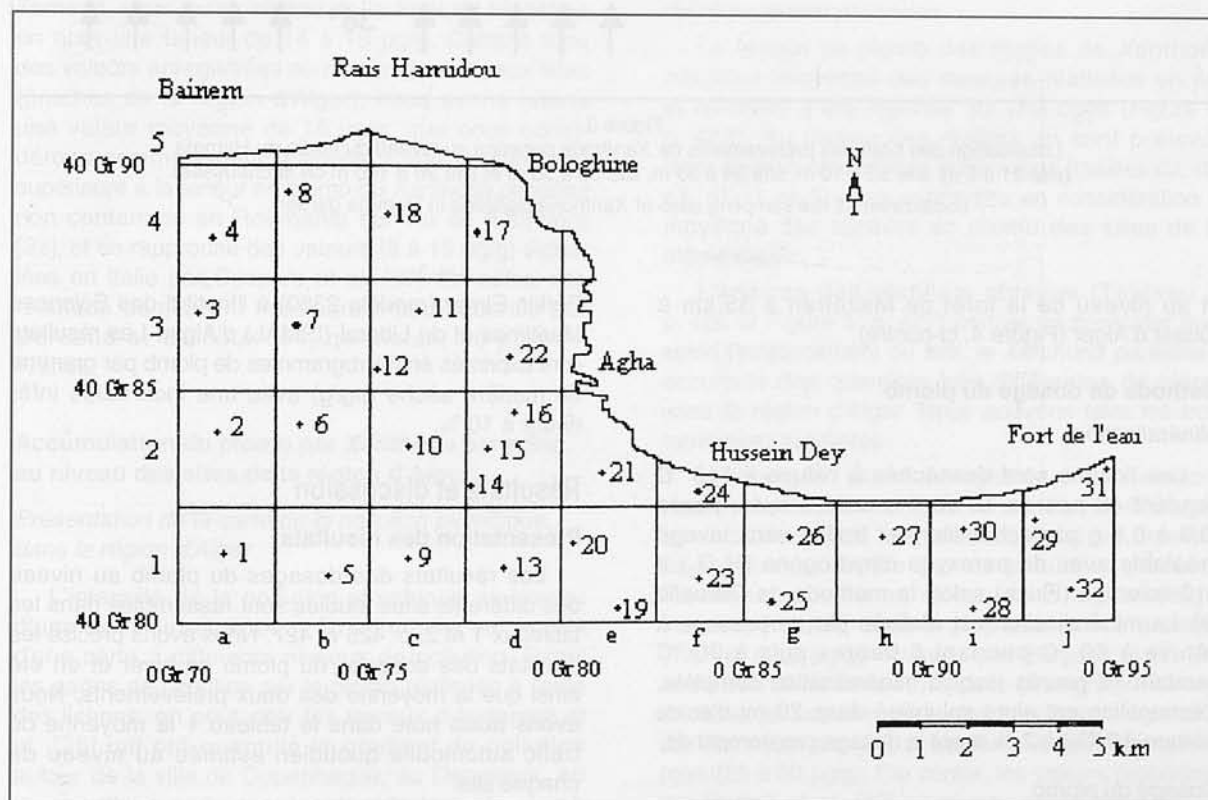


Figure 2.  
Emplacement des sites au niveau des mailles dans la région d'Alger.  
Sites location within grids in Algiers region.

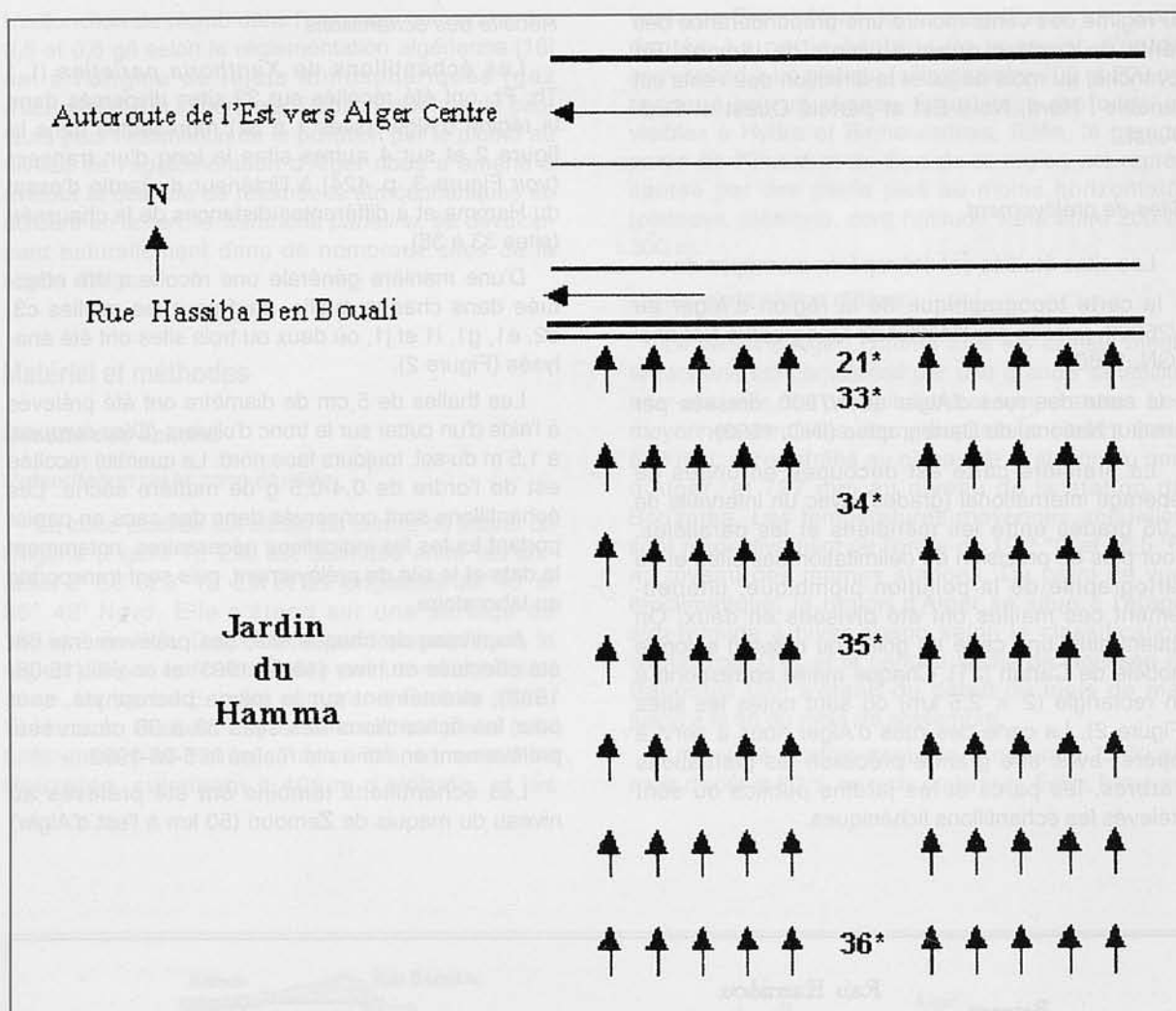


Figure 3.

Localisation des sites des prélèvements de *Xanthoria parietina* au niveau du jardin du Hamma (site 21 à 5 m, site 33 à 10 m, site 34 à 30 m, site 35 à 50 m et site 36 à 100 m de la chaussée).

Localization of the sampling sites of *Xanthoria parietina* in Hamma garden.

et au niveau de la forêt de Mazafran à 35 km à l'ouest d'Alger (Figure 4, ci-contre).

### Méthode de dosage du plomb

#### Minéralisation

Les lichens sont desséchés à l'étuve à 110 °C pendant 48 heures. Ils sont ensuite broyés, pesés (0,3 à 0,5 g par échantillon) et traités sans lavage préalable avec du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) à 110 volumes (Fluka) selon la méthode de Déruelle [9]. La minéralisation est réalisée par un passage à l'étuve à 60 °C pendant 6 heures puis à 90 °C pendant 72 heures jusqu'à minéralisation complète. L'échantillon est alors solubilisé dans 20 ml d'acide nitrique ( $HNO_3$ ) à 2 % avant le dosage proprement dit.

#### Dosage du plomb

##### par spectrophotométrie d'absorption atomique

Le plomb a été dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique avec un spectrophotomètre

Perkin Elmer (modèle 2380) à l'Institut des Sciences Maritimes et du Littoral (ISMAL) d'Alger. Les résultats sont exprimés en microgrammes de plomb par gramme de matière sèche ( $\mu g/g$ ) avec une incertitude inférieure à 10 %.

### Résultats et discussion

#### Présentation des résultats

Les résultats des dosages du plomb au niveau des différents sites étudiés sont rassemblés dans les tableaux 1 et 2, p. 426 et 427. Nous avons précisé les résultats des dosages du plomb en hiver et en été ainsi que la moyenne des deux prélèvements. Nous avons aussi noté dans le tableau 1 la moyenne du trafic automobile quotidien estimée au niveau de chaque site.

#### Teneur en plomb des échantillons témoins

La teneur en plomb chez *Xanthoria parietina*, prélevé au niveau de différents sites témoins (élo-

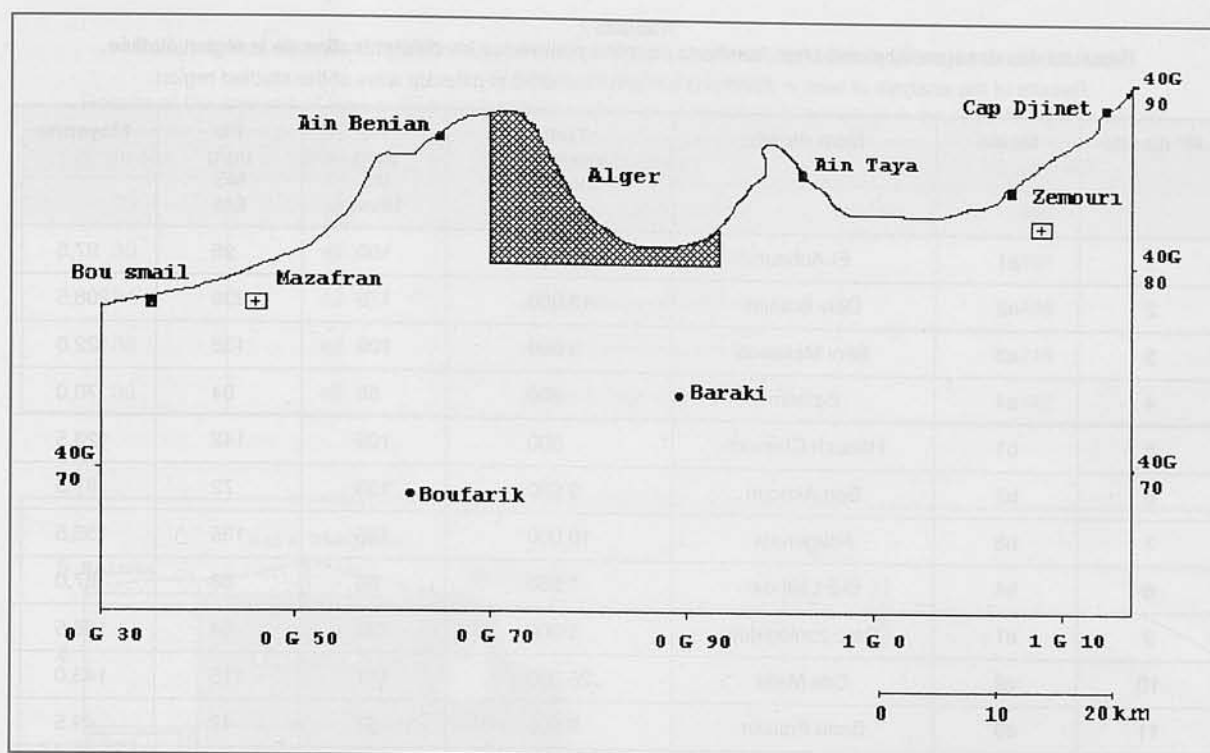


Figure 4.

Localisation des deux sites de prélèvement des échantillons témoins de *Xanthoria parietina* (+).

Localisation of the two sampling sites (controls) of *Xanthoria parietina* (+).

gnés de toute source de pollution) est de  $15 \mu\text{g/g}$  à Zemouri, alors qu'au niveau de la forêt de Mazafran on note une teneur de  $14$  à  $18 \mu\text{g/g}$ . Compte tenu des valeurs enregistrées au niveau de ces deux sites (proches de la région d'Alger), nous avons retenu une valeur moyenne de  $16 \mu\text{g/g}$ , que nous considérons comme teneur normale. Cette dernière est supérieure à la teneur en plomb du *Xanthoria parietina* non contaminé en Roumanie qui est de  $6,85 \mu\text{g/g}$  [22], et se rapproche des valeurs ( $8$  à  $15 \mu\text{g/g}$ ) signalées en Italie par Casparo et al. [23]. En outre, nos résultats demeurent inférieurs à ceux donnés par Déruelle et Guilloux [24] qui notent  $30 \mu\text{g/g}$  en France.

#### Accumulation du plomb par *Xanthoria parietina* au niveau des sites de la région d'Alger

Présentation de la carte de la pollution plombique dans la région d'Alger

L'intensité de la pollution plombique au niveau d'une zone urbaine peut être traduite au moyen d'une carte à différents niveaux de pollution. Parmi les cartes de pollution par le plomb réalisées à l'aide des lichens, on peut citer les travaux d'Andersen et al. [25] qui ont quantifié le gradient de pollution autour de la ville de Copenhague, au Danemark, au moyen d'une carte représentant le taux de plomb contenu dans le thalle de *Lecanora conizaeoides*. De la même manière, Takala et Olkkonen [8] ont dressé une carte de pollution par le plomb au niveau de la

ville de Kuopio, en Finlande, selon le taux de plomb de *Hypogymnia physodes*.

La teneur en plomb des thalles de *Xanthoria parietina* (moyenne des mesures réalisées en été et en hiver) a été reportée sur une carte (Figure 5, p. 427). Au niveau des mailles où sont prélevés deux ou trois échantillons lichéniques (mailles c3, d2, e1, g1, i1 et j1) nous avons pris en considération la moyenne des teneurs en plomb des sites de la même maille.

L'analyse des résultats obtenus (Tableau 1, p. 426 et Figure 5, p. 427) permet de constater que, selon l'emplacement du site, le *Xanthoria parietina* a accumulé des quantités très différentes de plomb dans la région d'Alger. Nous pouvons faire les trois remarques suivantes :

1. La teneur en plomb enregistrée chez *Xanthoria parietina* in situ est comprise entre  $49,5$  et  $856 \mu\text{g/g}$ . La comparaison de nos résultats avec les données de la littérature montre que les teneurs en plomb de *Xanthoria parietina* au niveau de la région d'Alger sont supérieures dans la plupart des cas à celles ( $13,7$  et  $82,3 \mu\text{g/g}$ ) trouvées par Bargagli et al. [26] au niveau d'une zone industrielle (Rosignano Solvay) en Italie, et supérieures aussi à celles enregistrées par Zanini et al. [27] près d'une aciérie du même pays ( $25$  à  $50 \mu\text{g/g}$ ). Par contre, les valeurs rapportées par Bartok et al. [22] au niveau d'une zone industrielle en Roumanie, valeurs qui varient entre  $6,85 \mu\text{g/g}$  chez le témoin et  $229 \mu\text{g/g}$  dans la zone polluée, se situent dans la gamme notée dans la région d'Alger.

Tableau 1.

Résultats des dosages du plomb chez *Xanthoria parietina* prélevé sur les différents sites de la région étudiée.Results of the analysis of lead in *Xanthoria parietina* sampled in different sites of the studied region.

| N° du site | Maille | Nom du site           | Trafic journalier moyen* | Pb $\mu\text{g/g}$ MS Hiver | Pb $\mu\text{g/g}$ MS Été | Moyenne |
|------------|--------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|
| 1          | a1     | El Achour             | 1 800                    | 100                         | 95                        | 97,5    |
| 2          | a2     | Dély Brahim           | 15 000                   | 178                         | 239                       | 208,5   |
| 3          | a3     | Béni Messous          | 3 000                    | 109                         | 135                       | 122,0   |
| 4          | a4     | Bainem                | 800                      | 56                          | 84                        | 70,0    |
| 5          | b1     | Haouch Chaouch        | 500                      | 105                         | 142                       | 123,5   |
| 6          | b2     | Ben Aknoun            | 9 000                    | 103                         | 72                        | 87,5    |
| 7          | b3     | Fougeroux             | 10 000                   | 136                         | 135                       | 135,5   |
| 8          | b4     | Sidi Lakhdar          | 1 500                    | 86                          | 88                        | 87,0    |
| 9          | c1     | Parc zoologique       | 5 000                    | 133                         | 84                        | 108,5   |
| 10         | c2     | Cité Malki            | 25 000                   | 171                         | 115                       | 143,0   |
| 11         | c3     | Beau Fraisier         | 8 000                    | 57                          | 42                        | 49,5    |
| 12         | c3     | Bouzaréa              | 12 000                   | 51                          | 61                        | 56,0    |
| 13         | d1     | Birmouradrais         | 25 000                   | 271                         | 242                       | 256,5   |
| 14         | d2     | Clinique des orangers | 22 000                   | 98                          | 157                       | 127,5   |
| 15         | d2     | Colone Voirol         | 1 500                    | 124                         | 93                        | 108,5   |
| 16         | d2     | Palais du peuple      | 60 000                   | 507                         | 146                       | 326,5   |
| 17         | d4     | Fontaine fraîche      | 1 500                    | 269                         | 157                       | 213,0   |
| 18         | c4     | Bouzaréa (Anc. fort)  | 1 000                    | 102                         | 89                        | 95,5    |
| 19         | e1     | Vieux Kouba           | 30 000                   | 331                         | 153                       | 242,0   |
| 20         | e1     | Palais de la culture  | 20 000                   | 306                         | 193                       | 249,5   |
| 21         | e2     | Jardin du Hamma       | 70 000                   | 883                         | 829                       | 856,0   |
| 22         | d3     | Université d'Alger    | 45 000                   | 127                         | 188                       | 157,5   |
| 23         | f1     | Kouba (Fort)          | 15 000                   | 406                         | 360                       | 383,0   |
| 24         | f2     | El Anasser            | 60 000                   | 600                         | 783                       | 691,5   |
| 25         | g1     | Hôpital Parnet        | 18 000                   | 194                         | 171                       | 182,5   |
| 26         | g1     | Caroubier             | 45 000                   | 531                         | 262                       | 396,5   |
| 27         | h1     | Mohammadia            | 60 000                   | 495                         | 182                       | 338,5   |
| 28         | i1     | Belford               | 24 000                   | 488                         | 384                       | 436,0   |
| 29         | j1     | Hôtel Ziri            | 20 000                   | 482                         | 293                       | 387,5   |
| 30         | i1     | Foire d'Alger         | 15 000                   | 190                         | 157                       | 173,5   |
| 31         | j2     | Fort de l'eau         | 10 000                   | 606                         | 534                       | 570,0   |
| 32         | j1     | Bab Ezzouar           | 8 000                    | 234                         | 139                       | 186,5   |

\* Source : Entreprise Nationale des Travaux Publics de la Wilaya d'Alger. Données de gestion du réseau routier stratégique, trafic journalier moyen de la circulation et sa répartition dans la Wilaya d'Alger 1998 : 11 p. [28]

MS : matière sèche.

Tableau 2.  
Résultats des dosages du plomb dans *Xanthoria parietina* prélevé à différentes distances de la chaussée  
au niveau du jardin du Hamma.

Results of the analysis of lead in *Xanthoria parietina* sampled in different distances from the road in Hamma garden.

| N° du site | Maille | Nom du site             | Pb µg/g MS |
|------------|--------|-------------------------|------------|
| 21         | e2     | Jardin du Hamma (5 m)   | 883        |
| 33         | e2     | Jardin du Hamma (10 m)  | 791        |
| 34         | e2     | Jardin du Hamma (30 m)  | 408        |
| 35         | e2     | Jardin du Hamma (50 m)  | 218        |
| 36         | e2     | Jardin du Hamma (100 m) | 142        |

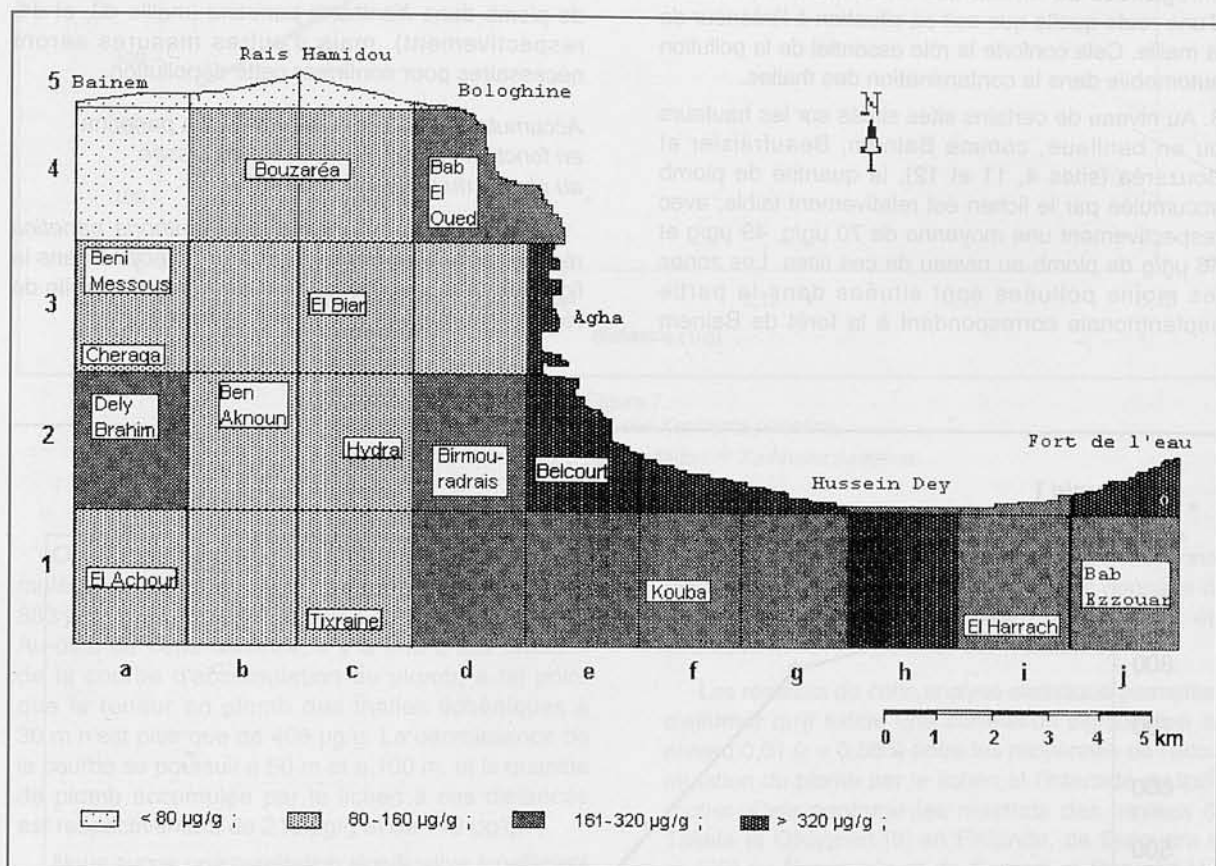


Figure 5.  
Cartographie de la pollution plombique à l'aide de l'accumulation du plomb  
par *Xanthoria parietina* in situ dans la région d'Alger.

Lead pollution map according to the lead accumulated by *Xanthoria parietina* in situ in Algiers region.

Enfin, les teneurs en plomb de 10 échantillons de *Xanthoria parietina* saxicole prélevés par Déruelle et Guilloux [24] près d'une usine de production de plomb tétraéthyle (entre 520 µg/g et 2 170 µg/g) sont supérieures à nos résultats.

2. La zone la plus polluée se situe à l'est et au nord-est de la zone d'étude (mailles e2, f1, f2, h1 et j2). Au niveau des sites localisés près des autoroutes à

proximité du jardin du Hamma (site 21), par exemple, on a relevé 856 µg/g de plomb en moyenne. Le rapport d'accumulation des thalles (Rd) défini par Déruelle [9], qui correspond au rapport de la teneur en plomb des lichens à un endroit précis et de celle des thalles témoins atteint 53 fois la valeur normale. Les teneurs élevées en plomb ont été observées aussi près des routes à grande circulation à El Anasser (site 24) où l'on a enregistré 691 µg/g, au niveau des sites à proximité de la chaussée

comme à Fort de l'eau (site 31) où l'on a noté 570  $\mu\text{g/g}$  et enfin aux intersections des routes comme au Palais du peuple (320  $\mu\text{g/g}$ ). Nos résultats concordent avec ceux obtenus par Azzouz [29] qui a classé le site Mustapha (maille e2) comme étant le plus pollué de la région d'Alger (3,8  $\mu\text{g}$  de plomb/ $\text{m}^3$  d'air). Cette valeur correspondait à un trafic routier de plus de 2 000 véhicules par heure. Enfin, on constate que les teneurs en plomb enregistrées sont parfois différentes selon les sites d'une même maille. C'est notamment le cas de la maille g1 (396  $\mu\text{g/g}$  pour le site 26 et 182  $\mu\text{g/g}$  pour le site 25), de la maille i1 (436  $\mu\text{g/g}$  pour le site 28 et 173  $\mu\text{g/g}$  pour le site 30) et de la maille j1 (387  $\mu\text{g/g}$  pour le site 29 et 186  $\mu\text{g/g}$  pour le site 32). Les teneurs élevées en plomb sont enregistrées au niveau des sites situés à proximité d'une route quelle que soit sa situation à l'intérieur de la maille. Cela conforte le rôle essentiel de la pollution automobile dans la contamination des thalles.

3. Au niveau de certains sites situés sur les hauteurs ou en banlieue, comme Bainem, Beaufrasier et Bouzaréa (sites 4, 11 et 12), la quantité de plomb accumulée par le lichen est relativement faible, avec respectivement une moyenne de 70  $\mu\text{g/g}$ , 49  $\mu\text{g/g}$  et 56  $\mu\text{g/g}$  de plomb au niveau de ces sites. Les zones les moins polluées sont situées dans la partie septentrionale correspondant à la forêt de Bainem

(mailles a4 et b4) où la teneur en plomb varie de 80 à 100  $\mu\text{g/g}$  et au massif de Bouzaréa (maille c3 et c4) où la teneur en plomb varie de 49 à 95  $\mu\text{g/g}$ . Les mêmes observations sont valables pour le centre de Ben Aknoun (maille b2) où l'accumulation du plomb par *Xanthoria parietina* atteint 87  $\mu\text{g/g}$ . Azzouz [29], qui a noté une teneur atmosphérique de l'ordre de 0,22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Ben Aknoun, considère ce site comme étant le moins pollué des quatre sites étudiés, et nos résultats permettent de confirmer cette observation. Enfin, dans la direction Nord, le même auteur souligne une diminution du plomb de l'air notamment au niveau des deux sites 22 et 17, diminution qu'il attribue à une régression du trafic routier (seulement 800 à 1 500 véhicules par heure). Au niveau de ces mêmes zones nous avons enregistré 157 et 213  $\mu\text{g/g}$  de plomb dans *Xanthoria parietina* (maille d3, et d4, respectivement), mais d'autres mesures seront nécessaires pour confirmer cette dépollution.

*Accumulation du plomb par Xanthoria parietina en fonction de la distance de la chaussée au niveau du jardin du Hamma*

L'accumulation du plomb par *Xanthoria parietina* récolté dans le jardin du Hamma est précisée dans la figure 6. La figure 7, ci-contre, représente la droite de régression au niveau du même transect.

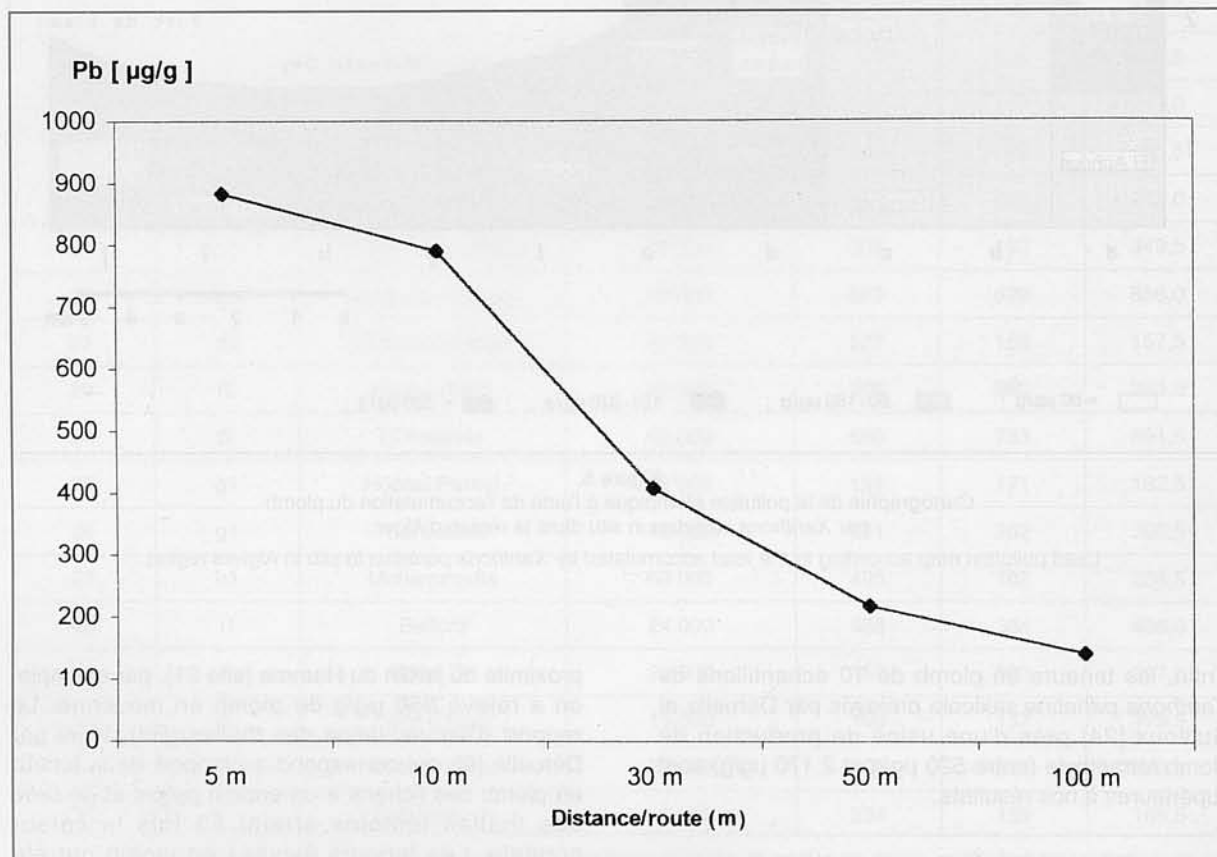


Figure 6.

Accumulation du plomb par *Xanthoria parietina* en fonction de la distance de la route au jardin du Hamma.

Lead accumulation by *Xanthoria parietina* in Hamma garden according to the distance from the road.

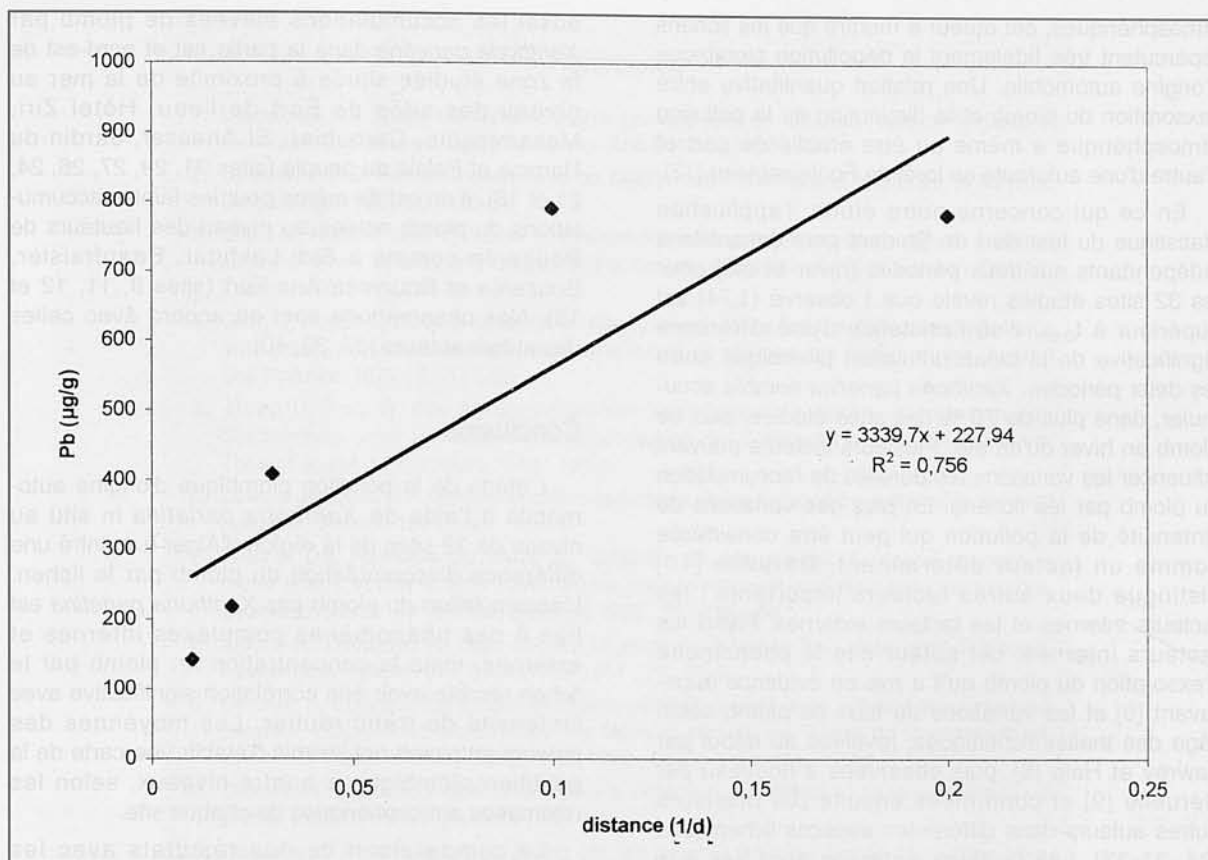


Figure 7.  
Droite de régression pour *Xanthoria parietina*.  
Regression graph for lead accumulation of *Xanthoria parietina*.

On constate que le *Xanthoria parietina* a accumulé une quantité considérable de plomb, à savoir 883 µg/g à 5 m et 791 µg/g à 10 m de la chaussée. Au-delà de cette distance, il y a une chute brusque de la courbe d'accumulation du plomb, à tel point que la teneur en plomb des thalles lichéniques à 30 m n'est plus que de 408 µg/g. La décroissance de la courbe se poursuit à 50 m et à 100 m, et la quantité de plomb accumulée par le lichen à ces distances est respectivement de 218 µg/g et de 142 µg/g.

Nous avons une corrélation significative (coefficient de détermination  $R^2 = 0,756$ ) entre l'accumulation du plomb et l'inverse de la distance à la chaussée (Figure 7). Cela traduit une dispersion du plomb atmosphérique selon le même modèle.

#### Relation entre l'accumulation du plomb chez *Xanthoria parietina* et l'intensité du trafic routier

Pour rechercher s'il existe une relation entre la moyenne de l'accumulation du plomb par *Xanthoria parietina* in situ au niveau des 32 sites étudiés au niveau des mailles et l'intensité du trafic routier de chaque site, nous avons calculé le coefficient de

corrélation ( $r$ ) de Pearson entre les teneurs moyennes annuelles en plomb dans le lichen et les données du trafic routier (Tableau 1, p. 426). L'analyse a été effectuée avec le logiciel SPSS (version 8).

Les résultats de cette analyse statistique permettent d'affirmer qu'il existe une corrélation significative au niveau 0,01 ( $r = 0,565$ ) entre les moyennes de l'accumulation du plomb par le lichen et l'intensité du trafic routier. Cela confirme les résultats des travaux de Takala et Olkkonen [8] en Finlande, de Burguera et al. [30] au Venezuela et de Semadi et Déruelle [17] dans la région de Annaba (Algérie).

#### Variation de l'accumulation du plomb au cours du temps

L'accumulation du plomb au cours du temps est un phénomène maintenant bien connu surtout depuis que l'exsorption du plomb a été mise en évidence suite au lessivage des thalles [9] et suite à la diminution de la quantité de plomb ajoutée au carburant [12]. En effet, s'il existe une corrélation étroite entre l'accumulation du plomb par les lichens et les retombées

atmosphériques, cet auteur a montré que les lichens répercutent très fidèlement la dépollution plombique d'origine automobile. Une relation quantitative entre l'exsorption du plomb et la diminution de la pollution atmosphérique a même pu être établie de part et d'autre d'une autoroute en forêt de Fontainebleau [12].

En ce qui concerne notre étude, l'application statistique du test du  $t$  de Student pour échantillons indépendants sur deux périodes (hiver et été) pour les 32 sites étudiés révèle que  $t$  observé (1,74) est supérieur à  $t_{0,95}$ , d'où l'existence d'une différence significative de la bioaccumulation plombique entre les deux périodes. *Xanthoria parietina* semble accumuler, dans plus de 70 % des sites étudiés, plus de plomb en hiver qu'en été. Plusieurs facteurs peuvent influencer les variations temporelles de l'accumulation du plomb par les lichens. En plus des variations de l'intensité de la pollution qui peut être considérée comme un facteur déterminant, Déruelle [10] distingue deux autres facteurs importants : les facteurs internes et les facteurs externes. Parmi les facteurs internes, cet auteur cite le phénomène d'exsorption du plomb qu'il a mis en évidence auparavant [9] et les variations du taux de plomb selon l'âge des thalles lichéniques, révélées au début par Lawrey et Hale [6], puis observées à nouveau par Déruelle [9] et confirmées ensuite par plusieurs autres auteurs dans différentes espèces lichéniques [24, 31-33]. Les facteurs externes sont liés aux variations de la dispersion du plomb dans l'atmosphère, et peuvent influencer localement l'accumulation du plomb par les lichens. C'est le cas notamment des facteurs climatiques, microclimatiques et topographiques. Parmi les facteurs climatiques on peut noter les précipitations et le vent. D'après Déruelle [9], la pluviosité importante peut produire un véritable lessivage de l'atmosphère avec entraînement des polluants qui contaminent les thalles. Ce phénomène explique en partie les teneurs en plomb plus élevées chez *Xanthoria parietina* pendant la période hivernale. De nombreux travaux ont démontré que les échantillons lichéniques prélevés face au vent contiennent des taux plus élevés de plomb que ceux du côté inverse des vents dominants [9, 17, 34-38]. Au niveau de la région d'Alger, les vents dominants du nord et du nord-est d'été pourraient également influencer l'accumulation du plomb par les thalles au niveau de certains sites comme Dély Brahim, Haouch Chaouch, Clinique des Orangers et El Anasser (sites 2, 5, 14 et 24, respectivement).

Les variations de la topographie locale peuvent aussi affecter le taux de plomb dans l'environnement, et chez les lichens il s'avère que les concentrations des particules atmosphériques sont plus élevées au niveau des dépressions qu'au niveau des pentes et des collines. Ce facteur topographique explique

aussi les accumulations élevées de plomb par *Xanthoria parietina* dans la partie est et nord-est de la zone étudiée située à proximité de la mer au niveau des sites de Fort de l'eau, Hôtel Ziri, Mohammadia, Caroubier, El Anasser, Jardin du Hama et Palais du peuple (sites 31, 29, 27, 26, 24, 21 et 16). Il en est de même pour les faibles accumulations du plomb notées au niveau des hauteurs de Bouzaréa comme à Sidi Lakhdar, Beaufrasier, Bouzaréa et Bouzaréa Anc Fort (sites 8, 11, 12 et 18). Nos observations sont en accord avec celles des autres auteurs [37, 39, 40].

## Conclusion

L'étude de la pollution plombique d'origine automobile à l'aide de *Xanthoria parietina* in situ au niveau de 32 sites de la région d'Alger a montré une différence d'accumulation du plomb par le lichen. L'accumulation du plomb par *Xanthoria parietina* est liée à des phénomènes complexes internes et externes, mais la concentration en plomb par le lichen semble avoir une corrélation significative avec l'intensité du trafic routier. Les moyennes des teneurs en plomb ont permis d'établir une carte de la pollution plombique à quatre niveaux, selon les retombées atmosphériques de chaque site.

La comparaison de nos résultats avec les mesures des capteurs réalisées précédemment par Azzouz [29] au niveau des quatre stations qu'il a étudiées a démontré une convergence entre les deux méthodes d'étude pour l'estimation de la pollution par le plomb.

Cependant, l'intérêt pratique de la méthode dite « biologique » que nous avons utilisée est sa facilité de réalisation, son coût moindre et son application possible sur une ville et même à l'échelle d'une région entière. Enfin, au niveau des zones urbaines ou industrielles lorsque les capteurs font défaut, comme c'est le cas dans l'agglomération d'Alger, la méthode biologique demeure la seule possibilité pour l'estimation de la pollution plombique.

## Mots clés

Cartographie. Pollution plombique. Lichens. Bioaccumulateurs. *Xanthoria parietina*.

## Keywords

Cartography. Lead pollution. Lichens. Bioaccumulators. *Xanthoria parietina*.

## Références

1. Lounamaa KJ. Trace elements in plants growing wild on different rocks in Finland. A semi quantitative spectrographic survey. *Ann Bot Soc* 1956 ; 29 : 1-196.
2. Seaward MRD. Some observations on heavy metal toxicity and tolerance in lichens. *Lichenologist* 1974 ; 6 : 158-64.
3. Saeki M, Kunii K, Seki T, Suzuki T. A lichen (*Parmelia conspersa*) surviving with elevated concentrations of lead and copper in the center of Sendai city. *Bull Environ Contam Toxicol* 1975 ; 14 : 726-30.
4. Garty J, Fuchs C, Zizapel N, Galun M. Heavy metals in the lichens *Caloplaca aurantiaca* from urban, suburban and rural regions in Israel. (A comparative study). *Water, Air and Soil Pollution* 1977 ; 8 : 171-88.
5. Hopp U, Tolz B. Die Abhängigkeit der Würzburger Flechten. Vegetation von Stadteinfluss unter Besonderer Berücksichtigung der Schwefel und Belimmissionen. Thèse Faculté de Würzburg 1979 : 143 p.
6. Lawrey JP, Hale MF. Lichens growth response to stress induced by automobile exhaust pollution. *Science* 1979 ; 204 : 423-4.
7. Walther DA, Ramelow GJ, Beck JC, Callahan JD, Marcon MF. Temporal changes in metal levels in the lichens *Parmotrema praesorediosum* and *Ramalina stenospora*, Louisiana. *Water, Air and Soil Pollution* 1990 ; 53 : 189-200.
8. Takala K, Olikkonen H. Lead content of epiphytic lichen in the urban area of Kuopio, East central Finland. *Ann Bot Fennici* 1981 ; 18 : 85-9.
9. Déruelle S. Écologie des lichens du Bassin parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO<sub>2</sub>, Pb) et relation avec les facteurs climatiques. Thèse de Doctorat d'État, Université Pierre et Marie Curie, Paris 1983 : 300 p. + annexe : 202 p.
10. Déruelle S. L'utilisation des lichens pour la détection et l'estimation de la pollution par le plomb. *Bulletin d'Écologie* 1984 ; 15 : 1-6.
11. Déruelle S. Accumulation du plomb par les lichens. *Bull Soc Bot Fr (Actualités botaniques)* 1992 ; 139 (1) : 99-109.
12. Déruelle S. La fiabilité des lichens comme bioindicateurs de la pollution plombique. *Écologie* 1996 ; 27 (4) : 285-90.
13. Garty J. Lichens as biomonitors for heavy metal pollution. In : *Plants as biomonitors, indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment*. Market B. (ed) VCH, Weinheim, New York 1993 : 193-263.
14. Bargagli R. Lichens as Biomonitors of Airborne Trace elements. In : *Trace Elements in Terrestrial Plants : An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery*. Springer Verlag and R.G. Landes Company 1998 : 179-206.
15. Garty J. Biomonitoring Atmospheric Heavy Metals with Lichens : Theory and Application, *Critical Reviews in Plant Sciences* 2001 ; 20 (4) : 309-71.
16. Semadi A. Effets de la pollution atmosphérique (pollution globale, fluorée et plombique) sur la végétation dans la région de Annaba (Algérie). Thèse Doctorat d'État. Université Pierre et Marie Curie 1989, Paris : 339 p.
17. Semadi A, Déruelle S. Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie). *Pollution Atmosphérique* Octobre-Décembre 1993 : 86-102.
18. JORADP (Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire), 22 août 1993 ; 54.
19. Emberger L. Sur le quotient pluviométrique. *CR Acad Sci* 1952 ; 234 : 2508-10.
20. Gaussen H, Bagnouls F. Détermination des climats par la méthode ombrothermique. *CR Acad Sci* 1955 ; 240 : 642-3.
21. Cartan M. Inventaires et cartographies de répartitions d'espèces. *Faune et Flore*. Ed. du CNRS 1978, Paris : 127 p.
22. Bartok K, Nicoora A, Berca V, Osvath T. Biological response in the lichen *Xanthoria parietina* transplanted in biomonitoring stations. *Revue Roumaine de Biologie, Série Biologie végétale* 1992 ; 37 : 143-57.
23. Casparo O, Castello A, Bargagli R. Biomonitoraggio ambiente. *Studia Geobotanica* 1989 ; 9 : 155-223.
24. Déruelle S, Guilloux F. Estimation des retombées plombiques autour d'une source d'émission en utilisant les lichens comme bioindicateurs. Programme : réhabilitation in situ des sols pollués par le plomb. Ministère de l'Environnement, Contrat de recherches 1994, N° 91-124. Paris : 48 p.

25. Andersen A, Hovmand MF, Johnsen I. Atmospheric heavy metals deposition in the Copenhagen area. *Environ Pollut* 1978 ; 17 (1) : 133-51.
26. Bargagli R, Iosco FP, Leonzio C. Monitoraggio di elementi in tracce mediante licheni epifiti. Osservazioni nell' area industriale di Rosignano Solvay. *Inquinamento* 1985 ; 2 : 33-7.
27. Zanini E, Bonifacio E, Cuttica GC. Heavy metals in soils near a steel-making industry : a case study in a complex valley situation in Italy. *Jour Environ Sci Health. Part A. Environ Sci Engine* 1992 ; 27 (8) : 2019-36.
28. Entreprise Nationale des Travaux Publics de la Wilaya d'Alger. Données de gestion du réseau routier stratégique, trafic journalier moyen de la circulation et sa répartition dans la Wilaya d'Alger 1998 : 11 p.
29. Azzouz M. Niveau de la pollution atmosphérique à Alger. Thèse Doctorat en Sciences Médicales. INES Sciences Médicales, Département de Pharmacie, Université d'Alger 1987 : 311 p.
30. Burguera JL, Burguera M, Bellandria MG. The amount of lead in roadside soil and some lichen species and their correlation with motor vehicles traffic volume. In : *Int. Conf on Heavy Metals in the Environment*. September 1989 ; 2. Ed. JP Vernet, CEP consultant. Ltd, Edinburgh, UK 460-63.
31. Hale ME, Lawrey JD. Annual rate of Pb accumulation in the lichen *Pseudoparmelia baltimorensis*. *Bryologist* 1985 ; 88 : 5-7.
32. Schwartzman D, Kasim M, Stief L, Johnson JH. Quantitative monitoring of airborne lead by a foliose lichen. *Water, Air and Soil Pollution* 1987 ; 32 : 363-78.
33. Bargagli R, D'Amato ML, Iosco FP. Lichen biomonitoring of metals in the San Rossore Park : Contrast with previous needle data. *Envir Monit Assess* 1987 ; 9 : 285-94.
34. Campbell JA. A mathematical treatment of the variation of heavy metal content of lichens with distance from a source. *Lichenologist* 1976 ; 8 : 83-6.
35. Folkesson L. Interkalibrering av tungmetallhalter i mossor och lavar för tillämpning vid nedfallsnätningar. Report N° PM 1021. Solna : Statens Naturvårdsverk 1978 : 40 p.
36. Goyal R, Seaward MRD. Lichen ecology of the Scunthorpe heathlands. 2. Industrial metal fallout pattern from lichen and soil assays. *Lichenologist* 1981 ; 13 : 289-300.
37. Bartok K. Heavy metal distribution in several lichen species in a polluted area. *Revue Roumaine de Biologie, Série Biologie végétale* 1988 ; 33 (2) : 127-34.
38. Bargagli R. Determination of metal deposition patterns by epiphytic lichens. *Toxicol Environ Chem* 1989 ; 18 : 249-56.
39. Hesketh HE. Understanding and controlling air pollution. *Ann Arbo. Sciences publishers* 1972.
40. Strom GH. Transport and diffusion of stack effluents. In : AC Stern (ed) *Air pollution*. Academic Press. London 1976 ; 1 : 401-98.