

Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie)

Lead pollution monitoring by transplanted lichens in Annaba area (Algeria)

par A. SEMADI (*) et S. DERUELLE (**)

RÉSUMÉ

Des thalles de *Ramalina duriaei* (De Not.) Bagl. et de *Ramalina farinacea* (L.) Ach. prélevés en dehors de toute pollution ont été transplantés pendant 6 mois à proximité de trois routes à grande circulation desservant la ville de Annaba (Algérie). Des dosages du plomb accumulé par ces lichens ont été réalisés chaque mois, à différentes distances de la chaussée. L'accumulation du plomb par ces deux espèces montre que l'impact de la circulation automobile s'étend de façon mesurable jusqu'à 70 m de part et d'autre de la route.

ABSTRACT

The lichens Ramalina duriaei (De Not.) Bagl. and Ramalina farinacea (L.) Ach. were transplanted from an unpolluted area to the site of Annaba (Algeria), near three highways for a period of six months. Lichen samples were collected each month, at different distances from the road, and analysed for lead. Lead accumulation in the two lichens shows that automobile pollution reaches 70 m from the road.

Mots-clés

Pollution atmosphérique – Plomb – Lichens

Key-words :

Air pollution – Lead – Lichens.

Introduction

L'accumulation du plomb par les végétaux, sous l'effet de la pollution plombique, a été observée pour la première fois en Finlande (LOUNAMAA, 1956). De nombreux travaux ont ensuite montré l'existence d'une relation entre l'accumulation du plomb par les plantes supérieures et la proximité des voies de circulation.

Plus récemment, l'intérêt des lichens comme indicateurs de la pollution plombique a été nettement souligné dans divers pays comme la Grande-Bretagne (SEAVARD, 1974), Israël (GARTY *et al.*, 1977), l'Allemagne (HOPP *et*

TOLZ, 1979), les USA (LAWREY *et* HALE, 1979), le Japon (TAKALA *et* OLKKONEN, 1981) et la France (DERUELLE, 1983 *et* 1984).

Le dosage du plomb dans des lichens transplantés près d'une voie de circulation montre une corrélation hautement significative entre l'accumulation du plomb d'une part et l'intensité de la circulation et la durée de l'exposition des thalles d'autre part (DERUELLE, 1983). En effet, à notre époque, la contamination de l'atmosphère par le plomb est due pour 90 % aux gaz d'échappement des véhicules à essence.

En Algérie, l'adjonction du plomb dans l'essence est de 0,45 g/litre. Ce plomb rejeté dans l'atmosphère sous forme d'aérosols contamine l'environnement au voisinage des voies de circulation. Nous avons cherché à évaluer cette pollution plombique dans la région de Annaba, en utilisant des transplants lichéniques.

I. – Matériel et méthodes

L'accumulation du plomb due à la circulation automobile a été détectée sur des transects perpendiculaires à trois routes à grande circulation desservant l'agglomération de Annaba.

Des transplants de lichens sont placés le long des transects à des distances variables de la

(*) Institut des Sciences de la Nature, Université de Annaba, 23000 Annaba (Algérie).

(**) Laboratoire de Cryptogamie, Université Pierre et Marie Curie, 75252 Paris Cedex 05 (France).

chaussée. Le dosage du plomb permet aussi de préciser son accumulation en fonction de la distance à la route. Les prélèvements réalisés après une durée variable de transplantation permettent d'évaluer la pollution au cours du temps.

1.1. Technique de transplantation des lichens

1.1.1. Historique

Les premières transplantations de lichens ont été réalisées il y a une centaine d'années dans la ville de Munich (ARNOLD, 1891-1901). Depuis, deux techniques ont été abondamment utilisées pour les transplantations de lichens épiphytes.

La première technique a été mise au point par BRODO (1961). Elle consiste à greffer un disque d'écorce supportant un lichen sur un phorophyte de même espèce. En absence d'arbres, SCHONBECK (1969) propose de fixer les disques d'écorce sur des planches. Cette technique de BRODO souvent reprise ces dernières années au cours des études de pollution acide a été aussi utilisée pour estimer l'accumulation du plomb à Fontainebleau (DERUELLE, 1983).

La deuxième technique consiste à exposer en milieu pollué des branches recouvertes de thalles épiphytes. Ainsi des thalles d'*Hypogymnia physodes* (KROG et BRANDT, 1975 ; STEINNES et KROG, 1977 ; PILEGAARD, 1979 ; DERUELLE, 1983) et de *Ramalina duriaei* (GARTI et FUCHS, 1982) ont été, de cette façon, soumis à la pollution automobile.

1.1.2. Choix de la technique utilisée et des espèces transplantées

Le choix de la technique de transplantation dépend des espèces transplantées. A Annaba, nous avons retenu deux espèces de *Ramalina* : le *Ramalina duriaei* (De Not.) Bagl. et le *Ramalina farinacea* (L.) Ach., qui sont abondantes dans la région. Ces deux espèces se présentent sous forme de thalles fruticuleux de quelques centimètres de long et fixés par un crampon très réduit sur des petites branches. Le faible diamètre du support et la morphologie des thalles rendant le prélèvement à l'emporte-pièce difficile, voire impossible sans léser les échantillons, nous avons choisi de transplanter des branches recouvertes de thalles.

1.1.3. Sites de prélèvements

Les échantillons transplantés ont été récoltés dans des régions non polluées.

Le *Ramalina duriaei* a été prélevé près d'El-Batah (fig. 1), à 16 km à l'Est de Annaba. Cette région est caractérisée par un maquis à *Olea oleaster* et *Pistacia lentiscus* sur le cordon dunaire. C'est une formation riche en *Phyllirea*

media, *Olea oleaster*, *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis* et *Arbutus unedo*, qui se situe presque au niveau de la mer (2 ou 3 m d'altitude). Les échantillons de *Ramalina duriaei* ont été transplantés le 20-03-1987 avec leur support, des branches de *Phyllirea media* et d'*Olea oleaster*.

Le *Ramalina farinacea* provient de la région de Seraidi, à 14 km à l'Ouest de Annaba (fig. 1) et à 1 000 m d'altitude. Cette région est caractérisée par l'abondance du chêne-zeen (*Quercus faginea* var. *mirbeckii*) et du chêne-liège (*Quercus suber*). Les thalles de *Ramalina farinacea* ont été prélevés le 14-03-1987 avec des branches de chêne zeen.

1.1.4. Lieux de transplantation

Les transplants ont été placés au niveau des trois grands axes routiers desservant l'agglomération de Annaba (fig. 1), à 1,30 m au-dessus du sol.

Quatre sites de transplantation ont été retenus, il s'agit de :

– **Site 1 : RN 44 Annaba-El Kala (18 km Sud-Est de Annaba).** Le site n° 1 est à 18 km environ au S-E de Annaba, à l'entrée du village « Ben M'Hidi ». Les fragments de branches de Chêne-zeen couverts de *Ramalina farinacea* ont été fixés sur *Casuarina equisetifolia* à 5 m de la chaussée et sur *Eucalyptus camaldulensis* à 35 m de la chaussée (fig. 2).

– **Site 2 : RN 44 Annaba-El Kala (4 km au Sud-Est de Annaba).** Le site n° 2 se situe à 4 km environ au Sud-Est de Annaba, il s'agit d'une haie de *Cupressus sempervirens* perpendiculaire à l'axe routier. Les transplants de *Ramalina farinacea* et *Ramalina duriaei* ont été fixés à différentes distances de la route (fig. 3), comprises entre 5 et 100 m.

– **Site 3 : RN 44 Annaba-Skikda.** Le site n° 3 a été choisi à 3 km au Sud-Ouest de Annaba. Cinq séries de transplants de *Ramalina farinacea* et de *Ramalina duriaei* ont été fixées avec leur support sur des pieds d'eucalyptus constituant un mélange de nouveaux et d'anciens boisements (fig. 4).

– **Site 4 : RN 16 Annaba-El Hadjar.** Les transplantations de *Ramalina farinacea* et de *Ramalina duriaei* ont été réalisées à 5 km au Sud de Annaba (fig. 5) au niveau de l'autoroute qui relie Annaba au complexe sidérurgique. C'est une haie de *Cupressus sempervirens* perpendiculaire à l'autoroute qui a servi de support.

1.1.5. Durée des transplantations

Les transplantations ont été effectuées à deux reprises : le 14-03-1987 (*Ramalina farinacea*) sur les sites 1, 2, 3 et 4, et le 20-03-1987 (*Ramalina duriaei*) sur les sites 2, 3 et 4.

Détection de la pollution plombique à l'aide de lichens

Figure 1.
Sites d'origine et de transplantation de *Ramalina duriaei* et *Ramalina farinacea*.
Map of study area showing stations for collecting and transplantation of *Ramalina duriaei* and *Ramalina farinacea*.

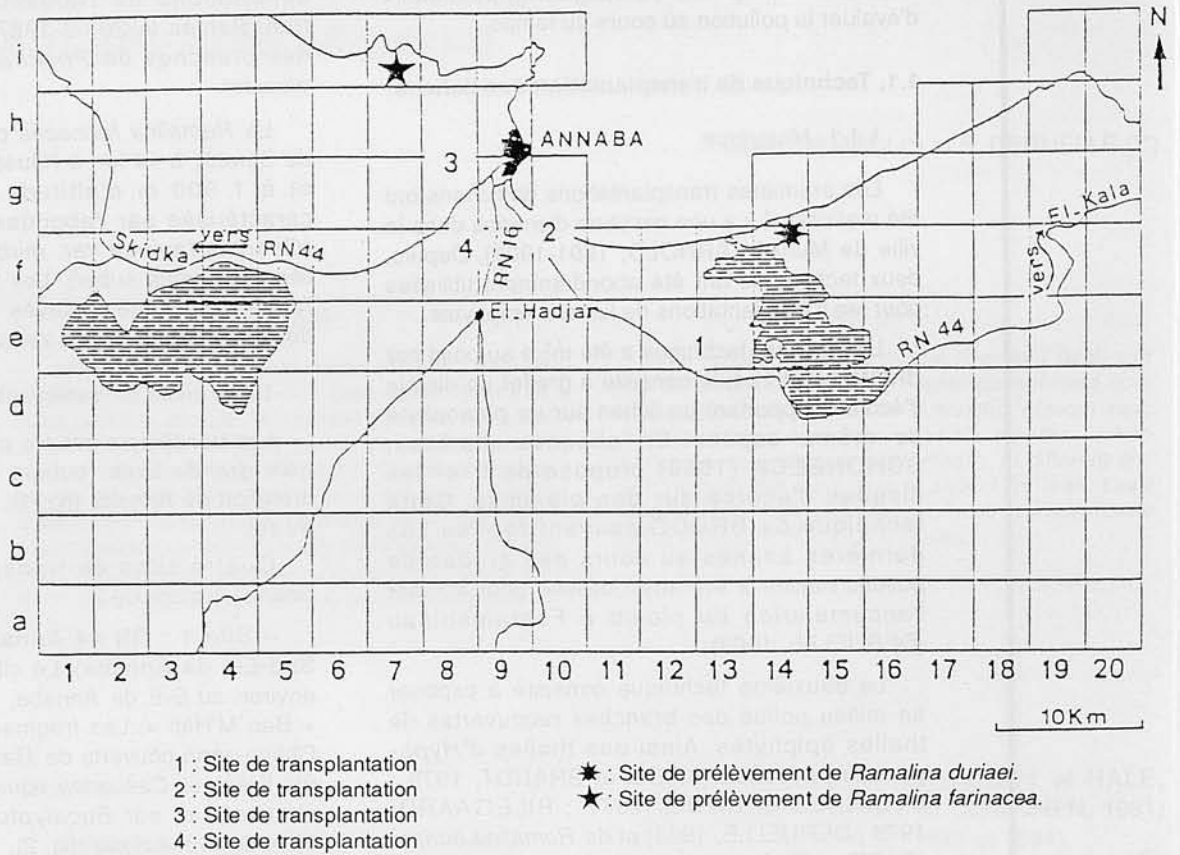


Figure 2.
Localisation du site 1.
Station 1 area.

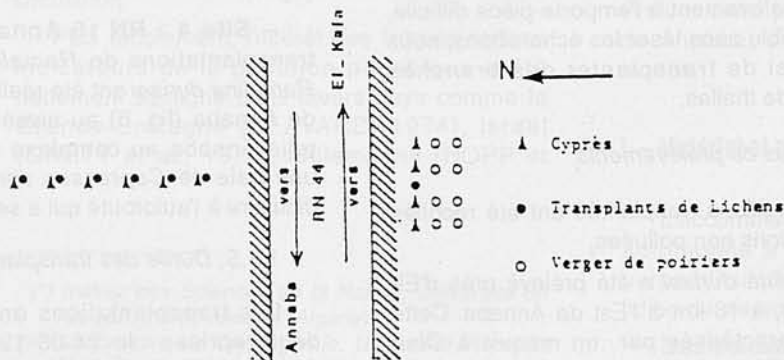
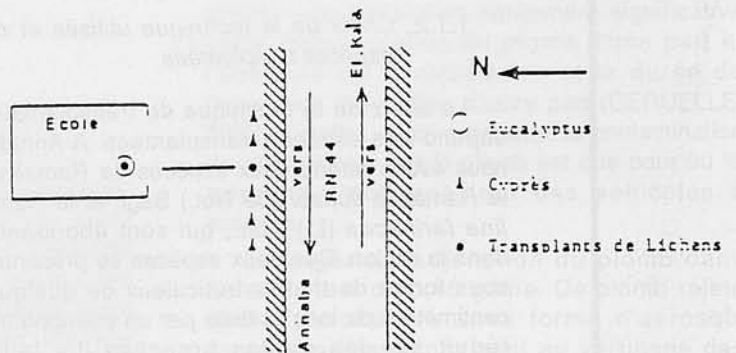


Figure 3.
Localisation du site 2.
Station 2 area.

Figure 4.
Localisation du site 3.
Station 3 area.

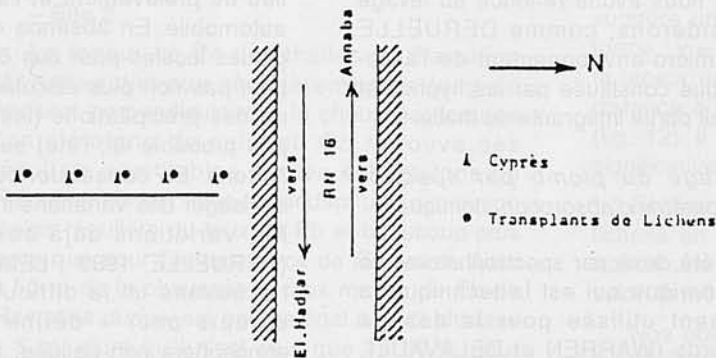
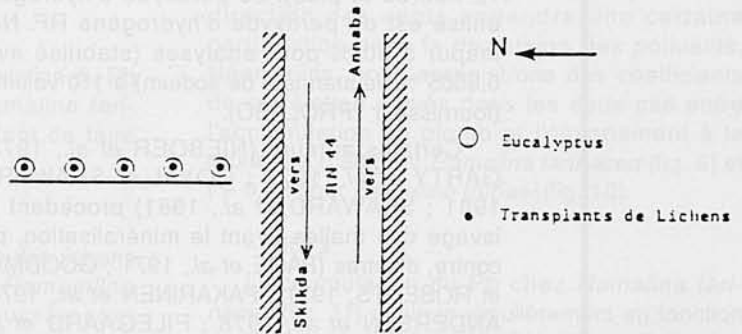


Figure 5.
Localisation du site 4.
Station 4 area.

Les prélèvements ont eu lieu tous les 15 jours ou tous les mois selon les espèces et les sites. La durée maximale de transplantation n'a pas dépassé 6 mois.

Les thalles transplantés ont toujours été prélevés le même jour pour chaque espèce et pour tous les sites. La date de récolte sera précisée avec les résultats. Des échantillons témoins ont été récoltés sur les sites de prélèvement (El-Batah et Seraidi) le même jour que les lichens transplantés.

Conclusion

Afin de minimiser les réactions individuelles des échantillons lichéniques aux transplantations, nous avons respecté les conditions préconisées par DERUELLE (1973), à savoir :

- le choix d'espèces de grande amplitude écologique (*Ramalina farinacea* et *Ramalina duriaei*), c'est-à-dire d'espèces largement répandues, indépendamment des conditions du milieu ;
- la transplantation des échantillons dans un biotope présentant des conditions plus ou moins similaires au milieu de prélèvement ;
- la réalisation de transplantations en zone non polluée (échantillons témoins) ;
- le transfert des thalles dans l'heure qui suit le prélèvement ;

- la multiplication spatio-temporelle des expériences.

1.2. Méthode de dosage du plomb

Le matériel a été récolté à l'aide d'un sécateur, ce qui permet de couper des portions de rameaux couverts de lichens en quantité suffisante, soit de l'ordre de 0,2 à 0,3 g de MS. Les échantillons sont placés rigoureusement dans des sacs en papier portant toutes les indications nécessaires notamment nature de l'espèce, date et site de prélèvement, puis ils sont transportés au laboratoire.

1.2.1. Minéralisation

Le traitement des échantillons a été commencé le jour même ou le lendemain de leur prélèvement. La minéralisation des thalles et des feuilles est habituellement obtenue avec divers acides seuls ou mélangés (HNO_3 , HClO_4 , HCl , H_2SO_4) ou avec du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Nous avons utilisé cette dernière technique déjà employée pour les lichens (DERUELLE, 1983) et qui provoque une minéralisation totale en 72 heures.

Les échantillons sont d'abord déshydratés à l'étuve à 105 °C pendant 72 heures, puis pesés. Une quantité de 0,2 à 0,3 g est alors traitée par le peroxyde d'hydrogène bouillant jusqu'à minéralisation complète (étuve à 90 °C pendant

72 heures et plus). Le peroxyde d'hydrogène utilisé est du peroxyde d'hydrogène RP. Normapur à 30 % pour analyses (stabilisé avec 0,0005 % de stannate de sodium) à 110 volumes (fournisseur : PROLABO).

Certains auteurs (NIEBOER *et al.*, 1972 ; GARTY *et al.*, 1977 ; GOYAL et SEAWARD, 1981 ; SEAWARD *et al.*, 1981) procèdent au lavage des thalles avant la minéralisation, par contre, d'autres (PAGE *et al.*, 1971 ; GOODMAN et ROBERTS, 1971 ; PAKARINEN *et al.*, 1978 ; ANDERSEN *et al.*, 1978 ; PILEGAARD *et al.*, 1979 ; FOLKESON, 1981) effectuent la minéralisation sur les échantillons récoltés. En ce qui nous concerne, nous avons renoncé au lavage car nous considérons, comme DERUELLE (1983), que le micro-environnement de l'association symbiotique constituée par les hyphes et par les algues fait partie intégrante du thalle.

1.2.3. Dosage du plomb par spectrophotométrie d'absorption atomique

Le plomb a été dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique qui est la technique la plus couramment utilisée pour le dosage des métaux lourds (WARREN et DELAVault, 1960 ; CANNON et BOWLES, 1962 ; CHOW et JOHNSTONE, 1965 ; RUHLING et TYLER, 1968 ; CHOW et EARL, 1970 ; GOODMAN et ROBERTS, 1971 ; BURKITT *et al.*, 1972 ; DERUELLE, 1983 et 1984). Les mesures ont été faites avec des solutions d'acide chlorhydrique.

L'appareil utilisé est un spectrophotomètre « IL 350 » pour les mesures effectuées en France sur des solutions d'acide nitrique à 2 % (KADAH, 1984) et un spectrophotomètre PERKIN-ELMER (modèle 400) pour les mesures effectuées en Algérie.

II. - Résultats et discussion

Les résultats des dosages au niveau des différents sites sont rassemblés dans les figures 6 à 18. L'analyse de ces résultats sera effectuée en considérant l'accumulation du plomb d'abord en fonction de la distance à la route, puis en fonction de la durée de contamination. Au préalable, la teneur « normale » des échantillons témoins sera définie et discutée en fonction des résultats obtenus dans d'autres régions.

2.1. Teneur en plomb des échantillons témoins

2.1.1. *Ramalina farinacea*

Lors de leur prélèvement, le 14-03-1987, les lichens de Seraïdi qui seront considérés comme

des témoins contenaient une moyenne de $(21,4 \pm 2,2)$ μg de Pb par g de matière sèche. Cette teneur a varié irrégulièrement entre cette première analyse et celle du 15 septembre 1987. Le taux moyen du plomb contenu dans les thalles de Seraïdi est de $29,1 \mu\text{g.g}^{-1}$. Les valeurs obtenues entre le 20-03-1987 et le 5-06-1987 sont comprises entre $21,4 \mu\text{g.g}^{-1}$ et $35,4 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Comme il n'y a pas de capteur de Pb atmosphérique dans la région de Seraïdi, il est impossible de détecter une éventuelle variation de la pollution plombique. Une telle variation est d'ailleurs peu probable étant donné l'isolement du lieu de prélèvement et l'absence de circulation automobile. En absence de données climatologiques locales pour ces 6 mois de 1987, on ne peut pas non plus discuter de l'influence du vent ou des précipitations (lessivage éventuel, mais peu probable ici, l'été) sur la teneur en Pb des lichens. En conséquence, on peut finalement envisager des variations individuelles du taux de Pb, variations déjà observées par ailleurs (DERUELLE, 1983 ; LEMAISTRE, 1983). Nous retrouvons ici la difficulté évoquée par ces auteurs pour « définir objectivement une atmosphère non polluée, et, en conséquence la teneur normale d'un lichen en Pb ».

Les seules données de la littérature concernant la teneur « normale » en Pb du *Ramalina farinacea* indiquent $(43 \pm 4,3)$ $\mu\text{g.g}^{-1}$, valeur trouvée en forêt de Fontainebleau (France) loin de toute pollution (DERUELLE, 1983). La valeur moyenne obtenue à Seraïdi est plus faible d'environ 30 %. Nous pouvons retenir que :

- la zone de Seraïdi où a été prélevé le *Ramalina farinacea* est soumise à une pollution plombique très faible, non dosable ;

- les variations du taux de plomb observées entre mars et septembre n'étant pas liées à des variations de la pollution plombique locale, ni des facteurs climatiques, sont dues à des variations individuelles.

2.1.2. *Ramalina duriaei*

Les thalles de *Ramalina duriaei* prélevés le 20-03-1987 à El Batah contenaient en moyenne $(11 \pm 1,1)$ μg de Pb par g de matière sèche. Au cours des analyses effectuées tous les 15 jours à partir de cette date de transplantation et le 5-06-1987, on constate une homogénéité remarquable de cette valeur. En effet, la moyenne des six analyses est de $11,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ avec pour valeurs extrêmes $11 \mu\text{g.g}^{-1}$ et $12 \mu\text{g.g}^{-1}$. La teneur normale en plomb pour les lichens non pollués de cette espèce sont en accord avec ceux trouvés en Israël par GARTY et FUCHS (1982). Ces auteurs notent en effet une teneur de $12 \mu\text{g.g}^{-1}$ de Pb dans les thalles de *Ramalina duriaei* récoltés dans la vallée de l'Esdrleon à l'écart de toute pollution plombique.

2.2. Influence de la distance aux voies de circulation

Les résultats concernant l'accumulation du Pb dans l'espace, par les lichens *Ramalina farinacea* et *ramalina duriaei*, permettent de faire plusieurs constatations :

- Site 1

Quelle que soit la date de récolte des lichens transplantés, les échantillons de *Ramalina farinacea* situés à 5 m de la chaussée contiennent toujours plus du double de Pb que ceux situés à 35 m (fig. 6).

- Site 2

La teneur en Pb des thalles de *Ramalina farinacea* diminue régulièrement le long du transect perpendiculaire à la chaussée, lorsque l'on s'éloigne de celle-ci. On retrouve des résultats semblables sur les échantillons de *Ramalina duriaei* avec cependant une diminution moins régulière du taux de Pb et beaucoup plus lente que pour l'autre espèce de *Ramalina*. Ainsi à 50 m de la chaussée le taux moyen de Pb du *Ramalina duriaei* est encore égal à 44 % du taux à 5 m, alors qu'il n'est plus que de 26 % pour *Ramalina farinacea* (fig. 7 et fig. 9).

Cette différence dans le cas de *Ramalina farinacea* s'explique par l'existence d'une haie d'*Acacia arabica* créant un obstacle pour les émissions susceptibles d'être emportées par les

vents du Sud-Est. Le changement fréquent de la direction des vents engendre une certaine perturbation dans la dispersion des polluants. Néanmoins, nous enregistrons des coefficients de corrélation élevés dans les deux cas entre l'accumulation du plomb et l'éloignement à la route : $r = 0,88$ pour *Ramalina farinacea* (fig. 8) et $r = 0,92$ pour *Ramalina duriaei* (fig. 10).

- Site 3

L'accumulation du Pb chez *Ramalina farinacea* (fig. 11) diminue régulièrement en fonction de l'éloignement à la route (RN 44). La diminution de la teneur en Pb est rapide dans les 50 premiers mètres, puis plus lente ensuite. Cela suggère une variation selon une équation de la forme : $y = a/x$. Le coefficient de corrélation entre la teneur en Pb des thalles (y) et l'inverse de la distance à l'autoroute ($1/d$) a une valeur de 0,98 (fig. 12). Il y a donc une corrélation hautement significative entre ces deux paramètres.

En fait, l'accumulation du plomb par les lichens en fonction de la distance à l'autoroute traduit une dispersion du plomb atmosphérique selon la même équation.

Nos observations sont en accord avec celles de DERUELLE (1983) quant à la diffusion du plomb dans l'atmosphère qui s'effectue selon ce modèle du côté de l'autoroute situé au vent.

Pour la deuxième espèce transplantée sur le site n° 3 (*Ramalina duriaei*, $r = 0,94$, cf. fig. 13 et fig. 14), l'accumulation du Pb diminue fortement

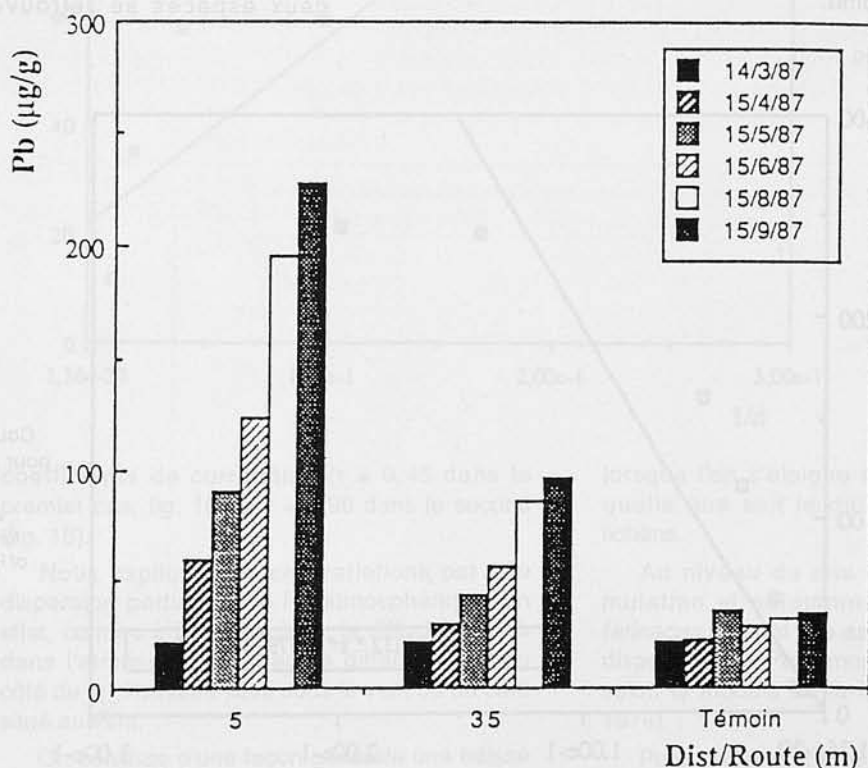
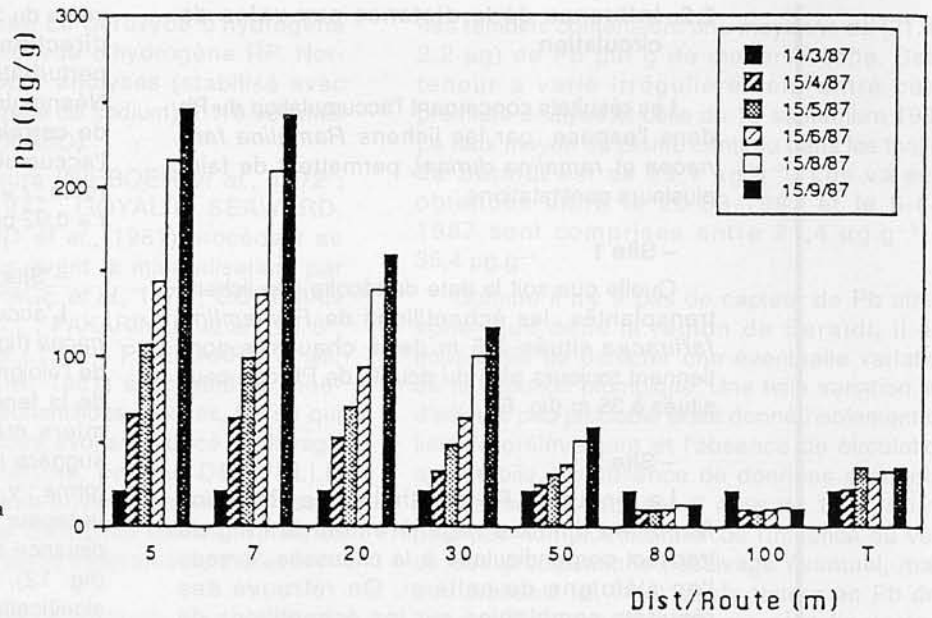


Figure 6. Représentation de l'accumulation spatio-temporelle du plomb par *Ramalina farinacea* (site 1) ; transplantation du 14-3-87 au 15-8-87. Concentration of lead accumulated by *Ramalina farinacea* (station 1) transplanted between 14-3-87 and 15-8-87.

Figure 7.
Représentation
de l'accumulation
spatio-temporelle
du plomb par
Ramalina farinacea
(site 2) ;
transplantation du
14-3-87 au 15-8-87.
Concentration
of lead accumulated
by *Ramalina farinacea*
(station 2)
transplanted between
14-3-87 and 15-8-87.



pendant les 50 premiers mètres mais pour pratiquement ne plus varier ensuite. Au-delà de cette distance, plusieurs facteurs interfèrent. On a d'une part un boisement mixte (strate arborescente et arbustive) avec une protection éventuelle du transplant et d'autre part des variations topographiques (terrains non plats) et climatiques (vent qui change de direction plusieurs fois par jour) qui modifient la dispersion du plomb.

- Site 4

A cet endroit, l'accumulation du Pb décroît plus ou moins régulièrement avec la distance à l'autoroute chez les deux espèces transplantées. Pour le *Ramalina farinacea* (fig. 15) une rupture de pente apparaît nettement à 50 m, tandis que pour le *Ramalina duriaei* (fig. 17), l'accumulation diminue plus régulièrement sans cette rupture de pente. Cette différence de comportement des deux espèces se retrouve avec les deux

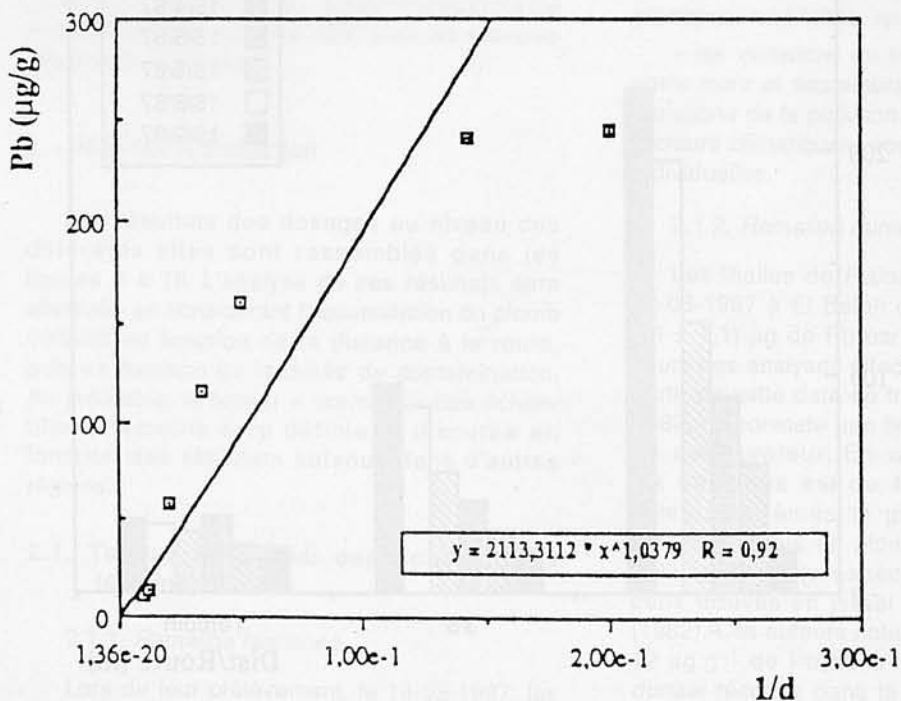


Figure 8.
Courbe de régression
pour *Ramalina farinacea*
(site 2).
Regressiongraph
for lead accumulation
of *Ramalina farinacea*
(station 2).

Figure 9.
Représentation
de l'accumulation
spatio-temporelle
du plomb par
Ramalina duriaei
(site 2) ;
transplantation
du 20-3-87 au 5-6-87.
Concentration
of lead accumulated
by *Ramalina duriaei*
(station 2) ;
transplanted between
20-3-87 and 5-6-87.

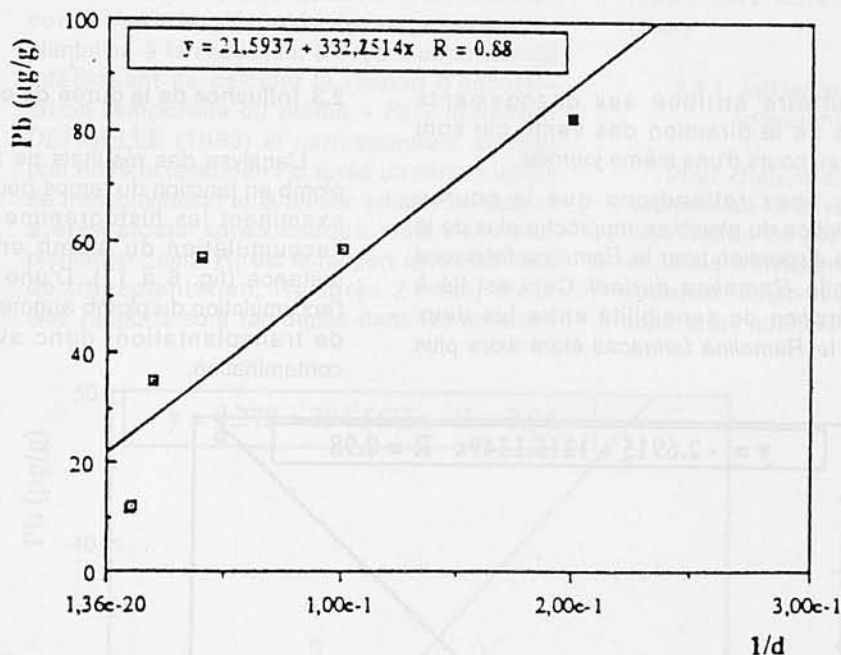
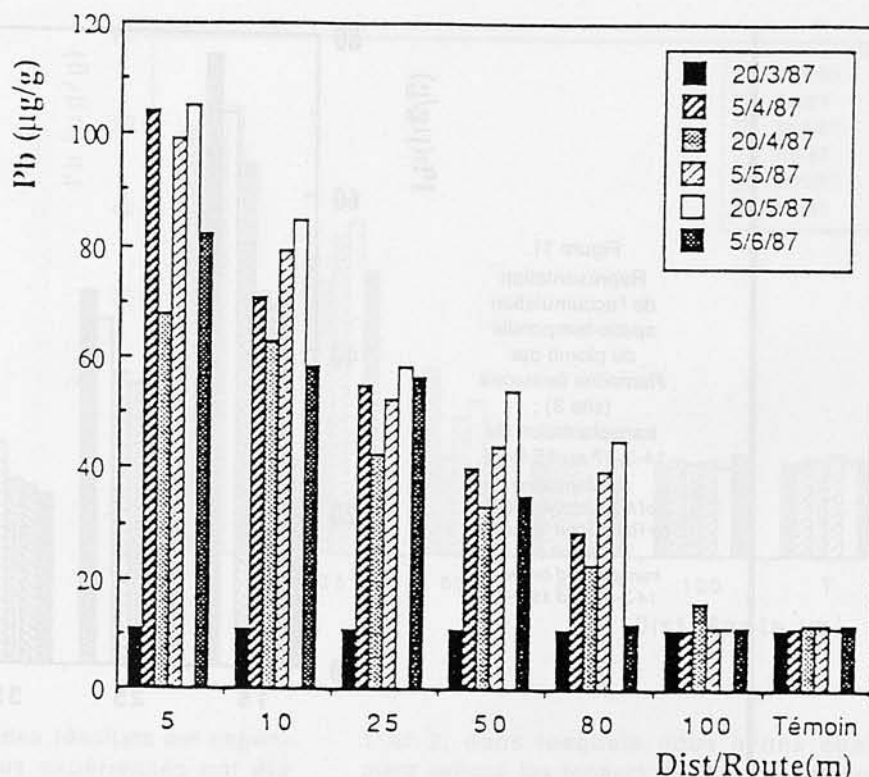


Figure 10.
Droite de régression
pour *Ramalina duriaei* (site 2).
Regression graph
or lead accumulation
of *Ramalina duriaei* (station 2).

coefficients de corrélation ($r = 0,45$ dans le premier cas, fig. 16) et $r = 0,96$ dans le second (fig. 18).

Nous expliquerons ces variations par une dispersion perturbée du Pb atmosphérique. En effet, comme à Fontainebleau, la diffusion du Pb dans l'atmosphère s'effectue différemment du côté de la chaussée situé sous le vent ou du côté situé au vent.

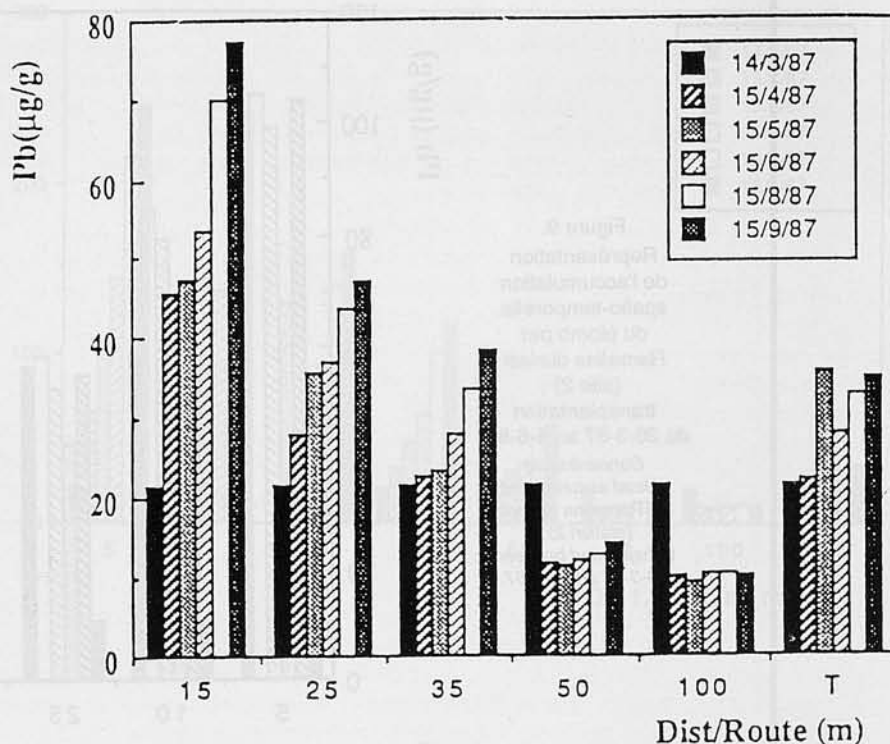
On constate d'une façon générale une baisse régulière de l'accumulation du plomb chez le *Ramalina farinacea* et le *Ramalina duriaei*

lorsque l'on s'éloigne de la chaussée, et ceci quelle que soit la date de prélèvement des lichens.

Au niveau du site 3, les courbes d'accumulation et notamment celles de *Ramalina farinacea* ne sont pas sans rappeler la courbe de dispersion du Pb atmosphérique qui s'effectue selon le modèle de la loi de Fick (cf. HELLER, 1974).

Pour les sites 2 et 4 (le site 1 ne comportant que deux mesures), on a une accumulation légèrement différente qui décroît en deux temps.

Figure 11.
Représentation
de l'accumulation
spatio-temporelle
du plomb par
Ramalina farinacea
(site 3) ;
transplantation du
14-3-87 au 15-9-87.
Concentration
of lead accumulated
by *Ramalina farinacea*
(station 3)
transplanted between
14-3-87 and 15-9-87.



Ceci peut-être attribué aux changements fréquents de la direction des vents qui sont observés au cours d'une même journée.

Enfin, nous retiendrons que la courbe d'accumulation du plomb se rapproche plus de la courbe de dispersion pour le *Ramalina farinacea* que pour le *Ramalina duriaei*. Ceci est lié à une différence de sensibilité entre les deux espèces, le *Ramalina farinacea* étant alors plus sensible.

2.3. Influence de la durée de contamination

L'analyse des résultats de l'accumulation du plomb en fonction du temps peut être réalisée en examinant les histogrammes qui traduisent l'accumulation du plomb en fonction de la distance (fig. 6 à 17). D'une façon générale, l'accumulation du plomb augmente avec la durée de transplantation, donc avec la durée de contamination.

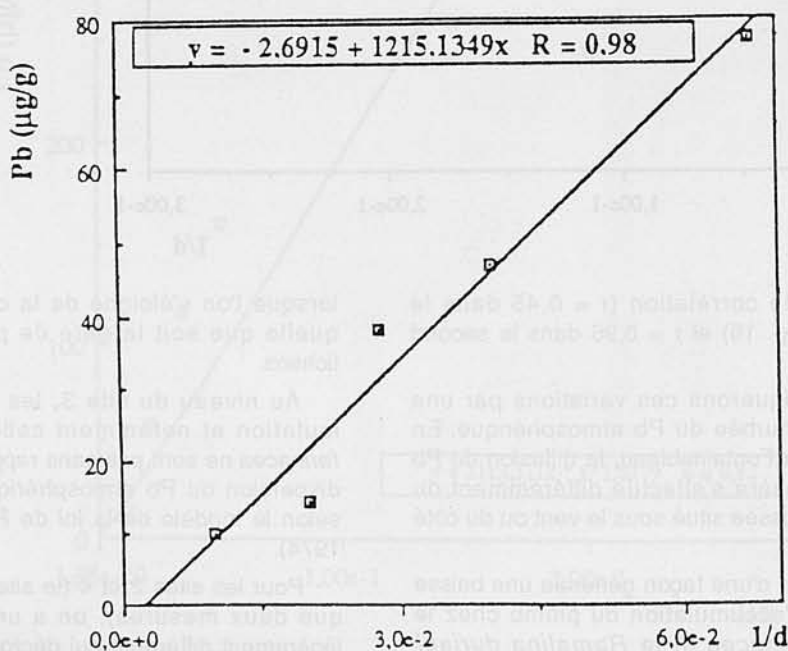
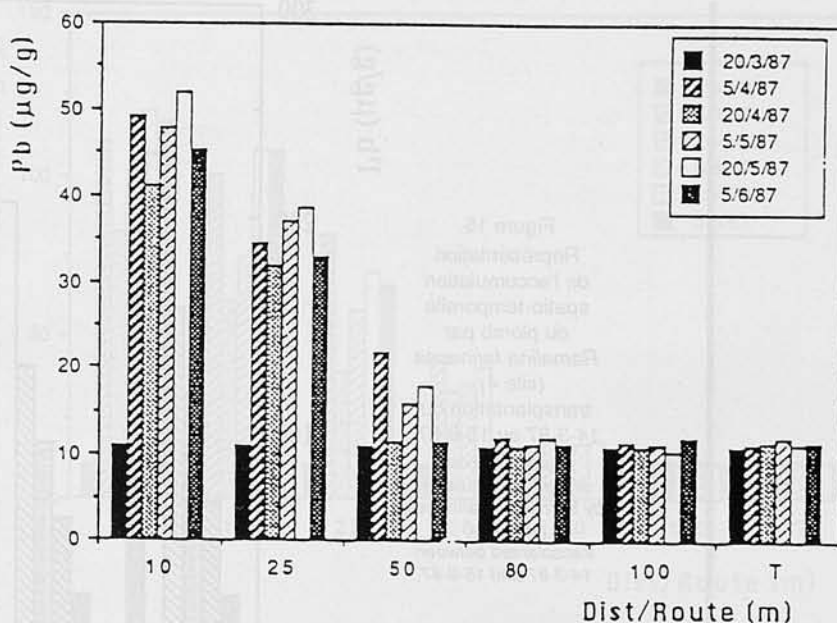


Figure 12.
Droite de régression
pour *Ramalina farinacea* (site 3).
Regression graph
for lead accumulation
of *Ramalina farinacea* (station 3).

Figure 13.
Représentation
de l'accumulation
spatio-temporelle
du plomb par
Ramalina duriaei
(site 3) ;
transplantation du
20-3-87 au 5-6-87.
Concentration
of lead accumulated
by *Ramalina duriaei*
(station 3)
transplanted between
20-3-87 and 5-6-87..



La comparaison des résultats est cependant délicate car les expériences ont été effectuées dans des conditions différentes concernant le site et la distance de transplantation à la chaussée. Il nous a donc semblé intéressant de calculer le rapport d'accumulation temporelle du plomb « Rt » défini par DERUELLE (1983) et correspondant au rapport entre la teneur en Pb après un certain temps de transplantation et la teneur initiale. Ce rapport a été calculé après chaque mois de transplantation ; ainsi R_1 est le rapport après un mois de transplantation, R_2 après 2 mois, etc... Ces rapports sont regroupés dans les tableaux

1 et 2, dans lesquels nous avons également indiqué les teneurs du Pb et les teneurs maximales obtenues en fin de transplantation.

2.3.1. Influence du trafic routier sur le rapport d'accumulation temporelle

Pour chaque site, le trafic journalier moyen est précisé ci-après (tabl. 3) avec les valeurs maximales de plomb accumulé par les deux espèces transplantées et leur rapport d'accumulation temporelle au bout de 1 mois (R_1). Le trafic a été quantifié par des comptages effectués

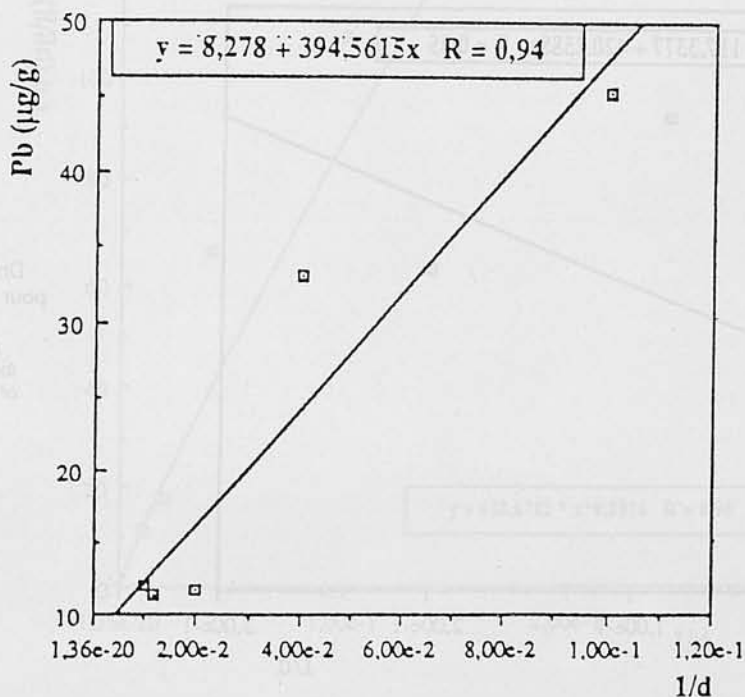
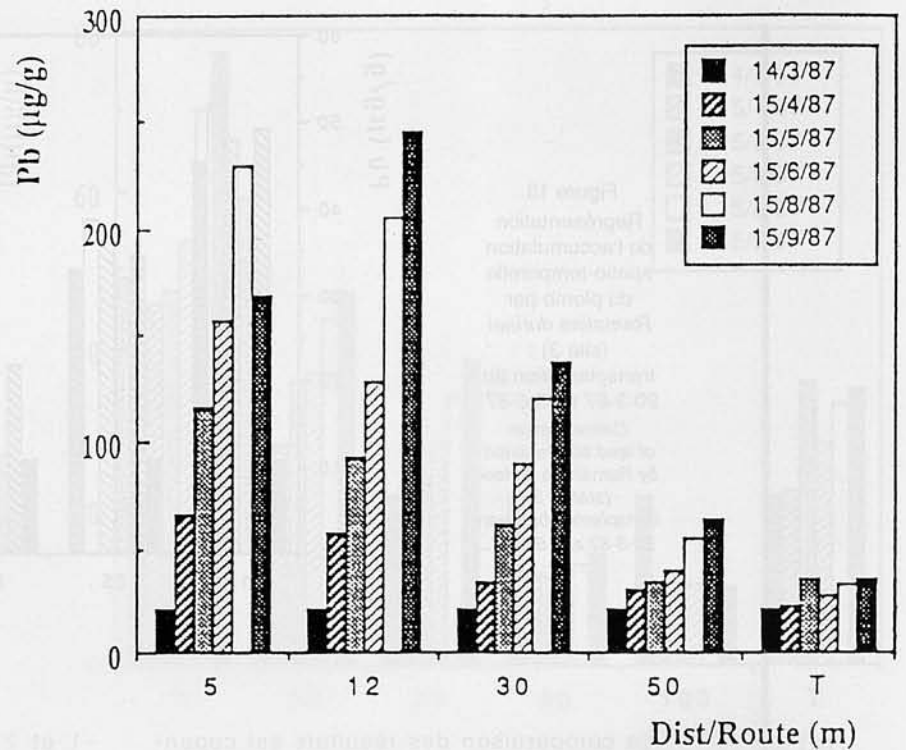


Figure 14.
Droite de régression
pour *Ramalina duriaei* (site 3).
Regression graph
for lead accumulation
of *Ramalina duriaei* (station 3).

Figure 15.
Représentation
de l'accumulation
spatio-temporelle
du plomb par
Ramalina farinacea
(site 4) ;
transplantation du
14-3-87 au 15-9-87.
Concentration
of lead accumulated
by *Ramalina farinacea*
(station 4)
transplanted between
14-3-87 and 15-9-87.



sur les RN 16 et 44 par la Direction des Transports de la Wilaya de Annaba au niveau des différents sites de transplantation.

On constate pour les deux espèces de *Ramalina* (tabl. 3) que l'accumulation du plomb déterminée par la teneur maximale trouvée pendant les transplantations et par le rapport d'accumulation temporelle R_1 , est la plus forte au site 4 qui est le plus fréquenté (25 976 véhicules par jour) et la plus faible au site 3 qui est moins fréquenté (8 762 véhicules par jour).

Le site 2 qui présente une circulation intermédiaire entre celle des sites 3 et 4 voit les deux *Ramalina* accumuler une quantité de plomb également intermédiaire par rapport à celle accumulée aux sites 3 et 4.

Au niveau du site 1, où seule le *Ramalina farinacea* a été transplanté, nous avons obtenu des valeurs semblables quoique légèrement inférieures à celles du site 2. En examinant en détail tous les rapports d'accumulation temporelle (tabl. 9), on peut confirmer cette différence

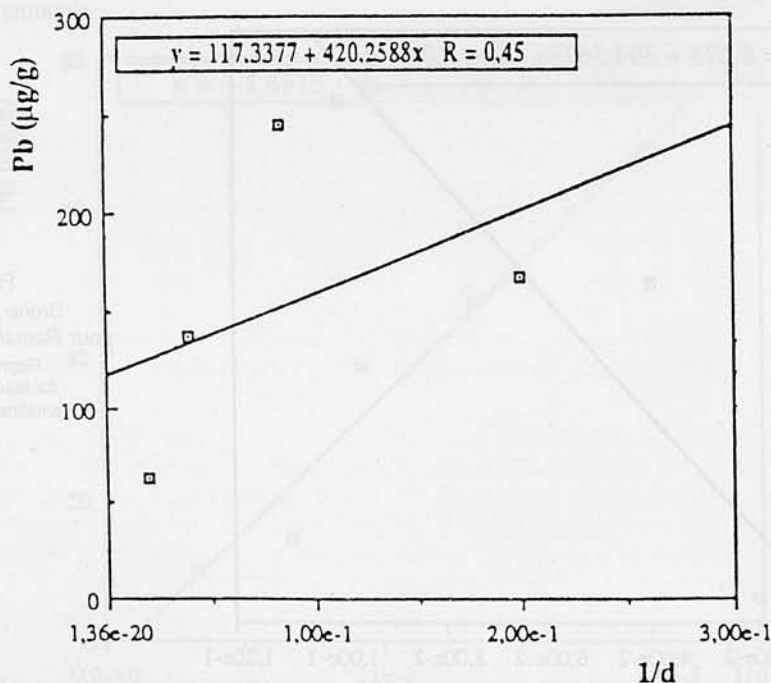
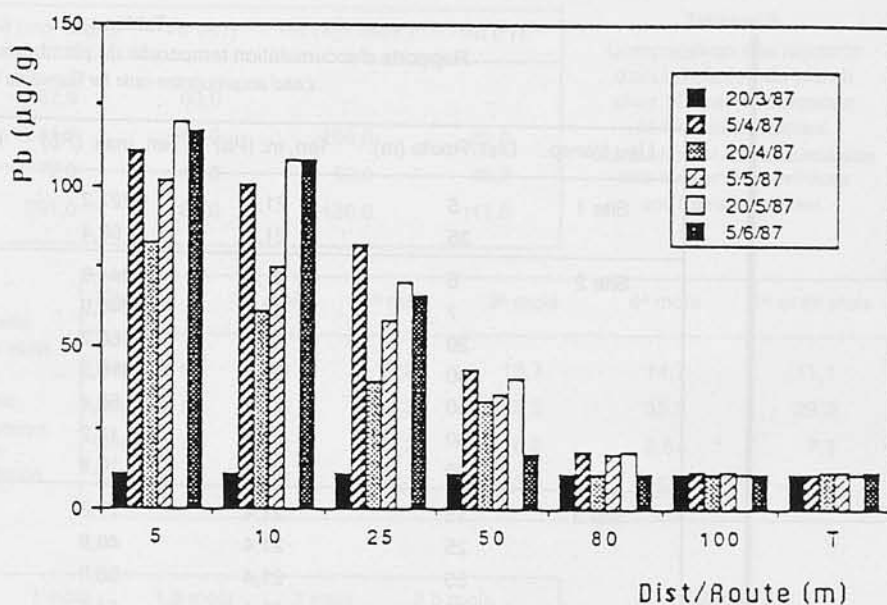


Figure 16.
Droite de régression
pour *Ramalina farinacea*
(station 4).
Regression graph
for lead accumulation
of *Ramalina farinacea*
(station 4).

Figure 17.
Représentation de l'accumulation spatio-temporelle du plomb par *Ramalina duriaei* (site 4) ; transplantation du 20-3-87 au 5-6-87.
Concentration of lead accumulated by *Ramalina duriaei* (station 4) transplanted between 20-3-87 and 5-6-87.



dans tous les cas aussi bien pour les transplantations à 5 m, que pour celles à 30 et 35 m de la chaussée et aussi bien après 1 mois, 2 mois, 3 mois, 4 mois et 6 mois de transplantation. Dans la mesure où la circulation est la même et les conditions climatiques, notamment la direction du vent, sont identiques, nous pouvons attribuer cette différence à la proximité de l'agglomération de Annaba. En effet, le site 2 situé à 4 km au Sud-Est de Annaba est en plus sous l'emprise directe de la pollution due à la ville elle-même tandis que le site 1 à 18 km au Sud-

Est de Annaba (près du village Ben M'Hidi) est hors de portée de cette influence.

L'accumulation du plomb par les lichens transplantés est donc liée à l'intensité de la circulation automobile et à la pollution qui en résulte. Ceci est en accord avec les divers travaux déjà réalisés à ce sujet (PILEGAARD, 1979 ; HOPP et TOLZ, 1979 ; DERUELLE, 1983 et GARTY, 1987). Signalons que ce dernier auteur a transplanté des thalles de *Ramalina duriaei* pendant plus de 3 ans.

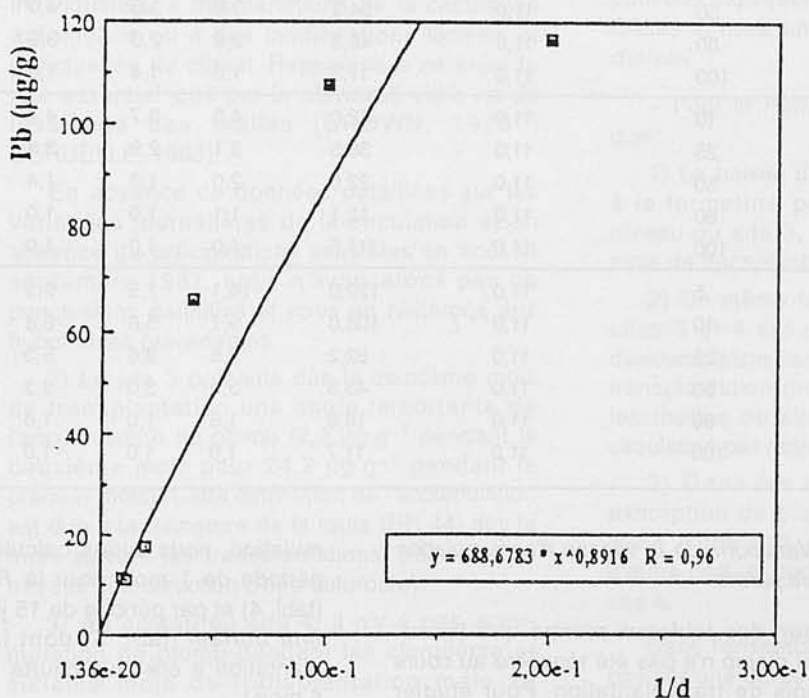


Figure 18.
Droite de régression pour *Ramalina duriaei*.
Regression graph for lead accumulation of *Ramalina duriaei* (station 4).

Tableau 1.
Rapports d'accumulation temporelle du plomb pour le *Ramalina farinacea*.
Lead accumulation ratio for *Ramalina farinacea*.

Lieu transp.	Dist./Route (m)	Ten. in. (Pb)	Ten. max. (Pb)	R0.5	R1	R1.5	R2	R2.5
Site 1	5	21,4	227,2	2,8	4,2	5,8	9,1	10,6
	35	21,4	96,4	1,4	2,0	2,6	4,0	4,5
Site 2	5	21,4	244,8	3,1	4,9	6,7	10,0	11,4
	7	21,4	240,9	3,0	4,5	6,3	9,7	11,2
	20	21,4	160,2	2,4	3,2	4,3	6,5	7,4
	30	21,4	116,5	1,5	2,2	2,9	4,6	5,4
	50	21,4	58,4	1,1	1,4	1,7	2,3	2,7
	80	21,4	13,2	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6
	100	21,4	10,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
Site 3	15	21,4	77,3	2,1	2,2	2,4	3,2	3,6
	25	21,4	46,8	1,3	1,6	1,7	2,0	2,2
	35	21,4	38,3	1,0	1,0	1,3	1,5	1,8
	50	21,4	14,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
	100	21,4	10,2	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Site 4	5	21,4	268,2	3,1	5,4	7,3	10,7	12,5
	12	21,4	245,0	2,6	4,3	6,0	9,5	11,4
	30	21,4	137,3	1,6	2,8	4,2	5,6	6,4
	50	21,4	63,4	1,4	1,5	1,8	2,5	3,0

Tableau 2.
Rapports d'accumulation temporelle du Pb pour le *Ramalina duriaei*.
Lead accumulation ratio for *Ramalina duriaei*.

Lieu transp.	Dist./Route (m)	Ten. in. (Pb)	Ten. max. (Pb)	R0.5	R1	R1.5	R2	R2.5
Site 2	5	11,0	105,8	9,5	6,2	9,0	9,5	7,5
	10	11,0	85,0	6,4	5,7	7,2	7,7	5,3
	25	11,0	58,3	5,0	3,8	4,7	5,3	5,1
	50	11,0	54,3	3,6	3,0	4,0	4,9	3,2
	80	11,0	45,3	2,6	2,0	3,6	4,1	1,0
	100	11,0	11,3	1,0	1,4	1,0	1,0	1,0
Site 3	10	11,0	52,0	4,5	3,7	4,4	4,7	4,1
	25	11,0	38,5	3,1	2,9	3,4	3,5	3,0
	50	11,0	22,0	2,0	1,0	1,4	1,6	1,0
	80	11,0	12,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
	100	11,0	111,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Site 4	5	11,0	120,0	10,1	7,5	9,3	10,9	10,6
	10	11,0	108,0	9,1	5,6	6,8	9,8	9,8
	25	11,0	82,2	7,5	3,6	5,3	6,3	6,0
	50	11,0	43,3	3,9	3,0	3,2	3,7	1,6
	80	11,0	18,0	1,6	1,0	1,6	1,6	1,0
	100	11,0	11,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

2.3.2. Variations de la vitesse d'accumulation du plomb

L'examen des tableaux montre que l'accumulation du plomb n'a pas été régulière au cours des six mois de transplantation. Pour étudier dans le détail les variations de la vitesse d'ac-

cumulation, nous avons calculé cette vitesse par période de 1 mois pour le *Ramalina farinacea* (tabl. 4) et par période de 15 jours pour le *Ramalina duriaei* (tabl. 5) dont la durée de transplantation a été plus courte (3 mois au lieu de 6 mois).

Sites	Trafic moy. j.	Rf (ten. max.)	Rf (R1)	Rd (ten. max.)	Rd (r1)
Site 1	12 613	227,0	60,0	—	—
Site 2	12 613	244,0	66,0	105,0	82,5
Site 3	8 762	77,0	46,0	52,0	49,0
Site 4	25 976	261,0	67,0	120,0	111,0

Tableau 3.
Comparaison des rapports d'accumulation du plomb chez *Ramalina farinacea* et *Ramalina duriaei*.
Comparison of lead accumulation ratio for *Ramalina farinacea* and *Ramalina duriaei*.

Tableau 4.
Accumulation bimensuelle du plomb pendant les six mois de transplantation de *Ramalina farinacea*.
Twice monthly lead accumulation by *Ramalina farinacea* during the transplantation period.

Sites	1 ^{er} mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois	5 ^e et 6 ^e mois
Site 1 (5 m)	9,0	12,2	13,7	14,7	11,1
Site 2 (5 m)	45,3	39,3	38,5	35,3	29,3
Site 3 (5 m)	24,2	2,2	6,8	8,54	7,3
Site 4 (5 m)	45,3	50,0	40,0	36,7	- 62,0

Sites	0,5 mois	1 mois	1,5 mois	2 mois	2,5 mois
Site 2 (5 m)	+ 92,9	- 36,5	+ 31,3	+ 5,8	- 22,5
Site 3 (10 m)	+ 38,3	- 8,1	+ 6,1	+ 4,0	- 3,3
Site 4 (5 m)	+ 100,1	- 28,2	+ 19,1	+ 18,0	- 3,3

Tableau 5.
Accumulation bimensuelle du plomb pendant les trois mois de transplantation de *Ramalina duriaei*.
Twice monthly lead accumulation by *Ramalina duriaei* during the transplantation period.

— Pour le *Ramalina farinacea* (tabl. 4), on constate :

1) D'une façon générale, la vitesse d'accumulation du plomb varie chaque mois pour chaque site étudié. Pour les sites 1, 2 et 4 (à l'exception des cinquième et sixième mois pour ce dernier site), les variations sont de l'ordre de 26 à 38 %. On peut les attribuer à des variations individuelles, à des variations de la circulation automobile ou à des modifications locales et ponctuelles du climat. Rappelons à ce sujet le rôle essentiel joué par la pluviosité vis-à-vis du lessivage des thalles (BROWN, 1976 ; DERUELLE, 1983).

En absence de données détaillées sur les variations journalières de la circulation et en absence de précipitations sensibles en août et septembre 1987, nous n'avancerons pas de conclusions définitive et nous en resterons aux hypothèses précédentes.

2) Le site 3 présente dès le deuxième mois de transplantation une chute importante de l'accumulation du plomb (2,2 $\mu\text{g.g}^{-1}$ pendant le deuxième mois pour 24,2 $\mu\text{g.g}^{-1}$ pendant le premier mois). Cette diminution de l'accumulation est due à la fermeture de la route (RN 44) dès le mois suivant les transplantations, par suite de travaux (construction d'une autoroute).

3) Au niveau du site 4, il n'y a pas accumulation de plomb pendant les cinquième et sixième mois de transplantation mais au contraire, il y a exsorption de plomb, c'est-à-dire

un rejet de cet élément. L'exsorption est d'ailleurs importante puisqu'elle atteint 125 $\mu\text{g.g}^{-1}$ en 2 mois soit 3 $\mu\text{g.g}^{-1}$ par jour. Nous retrouvons ici le phénomène mis en évidence à Fontainebleau (France) par DERUELLE (1983) qui signalait une exsorption moyenne journalière de 2,7 $\mu\text{g.g}^{-1}$. En absence de précipitations importantes pendant cette période (4,1 mm d'eau), nous ne pouvons expliquer l'exsorption par le lavage des thalles et nous en reparlerons avec le *Ramalina duriaei*.

— Pour le *Ramalina duriaei* (tabl. 5), on note que :

1) La baisse de l'accumulation du plomb liée à la fermeture pour travaux de la RN 44 au niveau du site 3, se retrouve après le premier mois de transplantation.

2) De même la différence de trafic entre les sites 3 et 4 est responsable de la différence d'accumulation pendant la première quinzaine de transplantation (trois fois moins de plomb dans les thalles du site 3 pour trois fois moins de circulation par rapport au site 4).

3) Dans les deux cas, nous avons une exsorption de plomb entre le 5 et le 20 mars 1987, d'une part, et le 20 mai et le 5 juin 1987 d'autre part, et ceci aussi bien au site 2, 3, qu'au site 4.

Dans l'ensemble, nos expériences ne portent pas sur une durée suffisamment longue ni sur un échantillonnage suffisamment important pour

pouvoir expliquer ce phénomène d'exsorption. L'exsorption est un phénomène très complexe et d'interprétation délicate. Etant donné la proximité de Annaba, on peut aussi envisager l'existence d'interactions entre l'accumulation ou l'exsorption du plomb et la pollution acide très importante à Annaba.

2.3.3. Comparaison des thalles transplantés à différentes distances de la chaussée

Au site 1, après 6 mois de transplantation, la teneur des échantillons de *Ramalina farinacea* transplantés à 35 m de la chaussée représente 42,5 % du plomb trouvé à 5 m de la chaussée.

Au site 2 où ont eu lieu deux séries importantes de transplantation (*Ramalina farinacea* à 5, 7, 20, 30, 50, 80 et 100 m ; *Ramalina duriaei* à 5, 10, 25, 50, 80 et 100 m), on a une diminution des rapports d'accumulation temporelle lorsque l'on s'éloigne de la chaussée et ceci quelle que soit la durée des transplantations. Néanmoins, pour les transplants récoltés à plus de 50 m de la chaussée, les variations sont infimes ou inexistantes et de toute façon non significatives.

Au site 3, les mêmes constatations peuvent être faites mais rappelons qu'après 1 mois de transplantation la circulation a été interrompue sur la RN 44. Il en résulte des faibles variations des rapports R_1 à R_6 .

Enfin, au site 4, les transplantations de *Ramalina farinacea* réalisées jusqu'à 50 m de la chaussée montrent des résultats très réguliers (tabl. 9) avec encore 24 % de plomb accumulé à 50 m par rapport à celui accumulé à 5 m. Cette valeur ici importante est probablement due à la circulation élevée à cette station. L'absence de transplants à plus de 50 m ne nous permet pas d'être affirmatif mais l'analyse des résultats du *Ramalina duriaei* (tabl. 10) confirme notre hypothèse. En effet l'impact de la RN 16 qui est la voie d'accès à Annaba avec la circulation la plus intense de la région atteint 80 m.

Nos résultats permettent donc de préciser l'impact de la circulation automobile sur les RN 16 et RN 44 aux abords de Annaba. L'impact de la RN 44 est de l'ordre de 50 m de part et d'autre de la chaussée que ce soit à l'Est ou à l'Ouest de Annaba. Pour la RN 16 avec un trafic 2 à 3 fois plus important, on peut définir un impact de l'ordre de 80 m. Ces résultats sont en accord avec ceux des auteurs ayant transplanté des thalles à différentes distances d'une voie de circulation. C'est notamment le cas de PILEGAARD (1979), PUNZ (1979), GARTY et FUCHS (1982) et DERUELLE (1983). Nos expériences confirment donc que l'accumulation du plomb dépend de l'importance des retombées.

En absence d'échantillons se développant naturellement aux abords immédiats des routes desservant Annaba, nous n'avons pas pu déterminer le degré de saturation des lichens transplantés pendant 6 mois. DERUELLE (1981) signale que pour la majorité des espèces transplantées à Fontainebleau, la teneur en plomb après presque 2 années de transplantation est toujours inférieure à la teneur des lichens installés spontanément et contaminés naturellement en bordure de l'autoroute. S'il est difficile de comparer l'accumulation pour des espèces différentes et en plus soumises à des conditions climatiques différentes, nous pouvons souligner que pour le *Ramalina farinacea* les valeurs obtenues à Annaba sont inférieures à celles de Fontainebleau ($482 \mu\text{g.g}^{-1}$) où le trafic est de 20 à 50 fois plus important qu'à Annaba.

Pour *Ramalina duriaei*, l'accumulation du plomb est importante au niveau du site 4 à Annaba, la teneur maximale en plomb accumulée au bout de 2,5 mois est de $120 \mu\text{g.g}^{-1}$, ce qui est relativement plus important dans le temps que la teneur signifiée en Israël (Hadera center) : $222 \mu\text{g.g}^{-1}$ de juillet 1981 à juillet 1982.

Les transplantations des deux espèces de *Ramalina* effectuées dans la région de Annaba permettent de définir précisément l'impact de la circulation automobile. Des dosages étalés sur des périodes plus longues sont cependant nécessaires pour affiner les résultats.

2.3.4. Pouvoir accumulateur des deux espèces de *Ramalina*

Les deux espèces *Ramalina farinacea* et *Ramalina duriaei* ont été transplantées ensemble aux sites 2 et 4. Les rapports d'accumulation temporelle à 5 m de la chaussée, au niveau des deux sites (tabl. 6) montrent que l'accumulation du plomb par *Ramalina farinacea* après 6 mois de transplantation est le double de celle du *Ramalina duriaei* après 3 mois de transplantation.

A la lumière de ce qui a été dit précédemment (variations individuelles, variations de la vitesse d'accumulation, etc...), nous nous garderons d'expliquer ces variations par la durée de transplantation. Néanmoins, en analysant l'accumulation du plomb en fonction du temps, on constate que chez *Ramalina farinacea* les rapports de R_1 à R_6 montrent une progression constante et régulière. Cette observation est en accord avec celle de DERUELLE (1983) qui classe le *Ramalina farinacea* parmi les espèces sensibles à la pollution plombique. Pour cet auteur, une espèce est sensible à la pollution plombique si le rapport d'accumulation spatiale à 15 m de la chaussée (teneur en Pb à 15 m/teneur des thalles témoins) est supérieur à 10. En extrapolant nos résultats à 15 m de la chaussée, nous avons en moins d'un an un

Tableau 6.
Comparaison des rapports d'accumulation temporelle pour les deux espèces de *Ramalina* transplantées à 5 m de la chaussée sur les sites 2 et 4.

Comparison of lead accumulation for *Ramalina farinacea* and *Ramalina duriaei* transplanted near (5 m) the road (stations 2 and 4).

Sites	Lichens	Ten. initiale	Ten maximale	R1	R2	R2,5	R3	R4	R6
Site 2	Rf	21,4	244,8	3,4	4,9	—	6,7	10,0	11,4
	Rd	11,0	105,0	6,2	9,5	7,5	—	—	—
Site 4	Rf	21,4	266,2	3,1	5,4	—	7,3	10,7	12,5
	Rd	11,0	120,0	10,1	9,3	10,6	—	—	—

rapport de l'ordre de 11, ce qui est comparable aux résultats observés en France.

Pour le *Ramalina duriaei*, la durée des transplantations est plus courte (3 mois au maximum) et les variations des vitesses d'accumulation sont plus accentuées. Cette espèce n'a pas été étudiée par DERUELLE (1983) mais d'après les résultats de GARTY et FUCHS (1982). On peut aussi la classer parmi les espèces sensibles. Cependant, en extrapolant nos résultats, le rapport d'accumulation spatiale est plus faible que pour le *Ramalina farinacea*. On peut donc conclure que le pouvoir accumulateur de *Ramalina farinacea* est supérieur à celui de *Ramalina duriaei*. Cette dernière espèce, moins sensible à la pollution plombique, peut quand même être utilisée dans nos régions où elle est plus abondante que le *Ramalina farinacea*.

Conclusion

Dans les environs de Annaba, l'impact de la pollution automobile est ressenti jusqu'à 50 à 70 m de la chaussée, selon l'importance de la circulation. En absence de capteurs de la pollution plombique dans cette région, la transplantation de lichens à forte affinité pour le plomb, comme *Ramalina farinacea* et *Ramalina duriaei*, permet de quantifier avec précision ce type de pollution. L'utilisation de ces deux espèces de lichens comme indicateurs biologiques permettrait d'établir une cartographie de la pollution automobile à grande échelle en Algérie.

Bibliographie

- ANDERSEN A. et al. Atmospheric heavy metals deposition in the Copenhagen area. *Environ. Pollut.*, 1978, 17, 133-151.
- ARNOLD F. Zur Lichenenflora von München. *Ber Bayer. Bot. Ges.*, 1, 1891, 1-143 ; 2, 1892, 1-76 ; 5, 1897, 1-82 ; 8, 1901, 1-5.
- BRODO I. M. Transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. *Ecology*, 1961, 42, 838-841.
- BROWN D. H. Mineral uptake by lichens. In *Lichenology Progress and Problems*. Systematics Association Special, volume n° 8, Ed. D. H. Brown, D. L. Hawksworth and R. H. Bailey. Academic Press, Londres et New York, 1976, 419-439.
- BURKITT A., LESTER P. et NICKLESS G. Distribution of heavy metals in the vicinity of an industrial complex. *Nature*, 1972, 238, 327-328.
- CANNON H. L. et BOWLES J. M. Contamination of vegetation by tetraethyl lead. *Science*, 1962, 137, 765-766.
- CAPLUN E., PETIT D. et PICCIOTO E. Le plomb dans l'essence. *La Recherche*, 1984, 152, 270-280.
- CHOW T. J. et EARL J. L. Lead aerosols in the atmosphere. Increasing concentrations. *Science*, 1970, 169, 577-580.
- CHOW T. J. et JOHNSTONE M. S. Lead isotopes in gasoline and aerosols of Los Angeles basin, California. *Science*, 1965, 147, 502-503.
- DERUELLE S. Effets de la pollution atmosphérique sur la végétation lichénique dans le Bassin Parisien. Convention de Recherche n° 79-15, ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, 1981, 91-112.
- DERUELLE S. Écologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO₂, Pb) et relations avec les facteurs climatiques. Thèse de Doctorat d'État, Université P. et M. Curie, Paris, 1983, 300 p. + annexe 202 p.
- DERUELLE S. L'utilisation des lichens pour la détection et l'estimation de la pollution par le plomb. *Bull. Écol.*, 1984, 15, 1, 1-6.
- FOLKESON L. Heavy metal accumulation in the moss *Pleurozium schreberi* in the surroundings of two plat-fired plants in Finland. *Ann. Bot. Fennici.*, 1981, 18, 245-253.
- GARTY J. Metal amounts in the lichen *Ramalina duriaei* (De Not.). Bagl. transplanted at biomonitoring sites around a new coal-fired power station after 1 year of operation. *Environmental Research*, 1987, 43, 104-116.
- GARTY J. et FUCHS C. Heavy metals in the lichen *Ramalina duriaei* transplanted in biomonitoring stations. *Water, Air and Soil Pollution*, 1982, 17, 175-183.

- GARTY J., FUCHS C., ZISAPEL N. et GALUN M. Heavy metals in the lichen *Caloplaca aurantia* from urban, suburban and rural regions in Israel (a comparative study). *Water, Air and Soil Pollution*, 1977, 8, 171-188.
- GOODMAN G. T. et ROBERTS T. M. Plants and soils as indicators of metals in the air. *Nature*, 1971, 231, 287-292.
- GOYAL R. et SEAWARD M. R. D. Metal uptake in terricolous lichens. I. Metal localization within the thallus. *New Phytol.*, 1981, 89, 631-643.
- HELLER R. L'absorption minérale chez les végétaux. Masson, Paris, 1974, 151 p.
- HOPP U. et TOLZ B. Die Abhängigkeit der würgbürger Flechten-vegetation von Stadteinfluss unter besonderer Berücksichtigung der Schwefel und Bleiimmissionen. Thèse Faculté de Würzburg, 1979, 143 p.
- KADAH H. Essai de localisation du plomb provenant de la pollution automobile dans les thalles d'un lichen. D.E.A. Biologie et Physiologie Végétale, Université P. et M. Curie (Paris VI), 1984, 115 p.
- KROG H. et BRANDT N. Lav som indikator plante ved studiet av luftforurensninger - Norsk Inst. f. Luftforskning., Kjeller, Norvège, 1975, 28 p.
- LAWREY J. D. et HALE M. E. Lichen growth responses to stress induced by automobile exhaust pollution. *Science*, 1979, 204, 423-424.
- LEMAISTRE V. Mise au point d'une électrode à oxygène en milieu aérien. Application à l'étude de l'influence de la pollution automobile globale sur les échanges gazeux de deux lichens. Thèse de 3^e cycle, Université P. et M. Curie (Paris VI), 1983, 102 p.
- LOUNAMAA K. J. Trace element in plants growing wild on different rocks in Finland. A semi-quantitative spectrographic survey. *Ann. Bot. Soc. « Vanamo »*, 1956, 29, 1-196.
- NIEBOER E., AHMED H. M., PUCKETT J. K. et RICHARDSON D. H. S. Heavy metals content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury, Ontario. *Lichenologist*, 1972, 5, 292-304.
- PAGE A. L. et GANJE T. J. Lead quantities in plants, soil and air near some major highways in Southern California. *Hilgardia*, 1971, 41, 1-31.
- PAKARINEN P. et al. Heavy metals in *Cladonia arbuscula* and *Cladonia mitis* in eastern Fennoscandia. *Ann. Bot. Fennici*, 1978, 15, 281-286.
- PILEGAARD K. Heavy metals in bulk precipitation and transplanted *Hypogymia physodes* and *Dicranoweizia cirrata* in the vicinity of a danish steelworks. *Water, Air and Soil Pollution*, 1979, 11, 77-91.
- PUNZ W. Combination effects of lead, sodium chlorid and sulphur dioxide on lichen metabolism. Symposium Bioindykacji, Katowice Zabrze, 1977, 27-31.
- RUHLING A. et TYLER G. An ecological approach to the lead problem. *Bot. Notiser*, 1968, 121, 321-342.
- SCHONBECK H. Eine methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten. *Staub. Reihn. Luft.*, 1969, 28, 14-18.
- SEAWARD M. R. D. Some observations on heavy metal toxicity and tolerance in lichens. *Lichenologist*, 1974, 6, 158-164.
- SEAWARD M. R. D. et al. Heavy metal content of Umbilicaria species from the Sudety region of SW Poland. *Oikos*, 1981, 36, 107-113.
- SEMADI A. Effets de la pollution atmosphérique (pollution globale, fluorée et plombique) sur la végétation dans la région de Annaba (Algérie). Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université P. et M. Curie (Paris VI), 1989, 335 p.
- STEINNES E. et KROG H. Mercury, arsenic and aluminium fallout from an industrial complex studied by means of lichen transplants. *Oikos*, 1977, 28, 160-164.
- TAKALA K. et OLKKONEN H. Lead content of an epiphytic lichen in the urban area of Kuopio, east central Finland. *Ann. Bot. Fennici*, 1981, 18, 85-89.
- WARREN H. V. et DELAVALT R. E. Observations on the biogeochemistry of lead in Canada. *Trans. Roy. Soc. Can.*, sér. 3, 1960, 54, 11-20.