Cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière à l'aide de la transplantation d'un lichen bioaccumulateur *Xanthoria parietina* dans la ville de Tiaret (Algérie)

Cartography of atmospheric pollution by the lead from road traffic using transplantation of a lichen bioaccumulator *Xanthoria parietina* in Tiaret city (Algeria)

M'hamed MAATOUG*, Khaldia MEDKOUR*, Mohamed AIT HAMMOU*, Nadera AYAD**

Résumé

L'objectif de ce travail est d'établir une carte de la pollution par le plomb d'origine routière à l'aide d'un lichen transplanté dans différents sites de la ville de Tiaret (Algérie). Dans cette ville, l'apport principal en plomb se fait par la voie atmosphérique, notamment par les émissions liées au trafic routier. Les émissions de Pb se font essentiellement sous forme de fines particules qui sont ensuite collectées par les thalles de lichen *Xanthoria parietina.*

Quarante-six échantillons de *Xanthoria parietina* ont été transplantés dans la ville durant un mois. Les concentrations en plomb sont déterminées à partir des échantillons secs de thalles de *Xanthoria.*

La classification automatique a permis de définir trois classes de pollution qui varient de 76,31 ± 3,66 ppm à 208,30 ± 38,95 ppm. Les valeurs enregistrées dépassent les valeurs de concentration en plomb dans les échantillons témoins de *Xanthoria* (28,35 ± 0,59 ppm). Nous constatons également que les fortes concentrations en Pb sont observées dans le voisinage des grands axes de circulation.

La cartographie est effectuée par la méthode par interpolation/extrapolation des données *in situ* de pollution connaissant la mesure de concentration de polluants à certains points. La carte présente des informations à partir des résultats obtenus par la classification automatique et les trois classes de pollution qui sont repérées grâce à une échelle de couleur. Cette carte a pour objectif de répondre à un besoin de connaissance spatialisée du problème de pollution atmosphérique en milieu urbain.

Mots clés

Pollution plombique. Trafic routier. *Xanthoria parietina.* Cartographie. Tiaret.

** Laboratoire d'agro-biotechnologie et de nutrition en zones semi-arides – Université Ibn Khaldoun – B.P. 78 – Tiaret – Algérie. E-mail : maatoug_m@yahoo.fr*

*** Faculté des Sciences – Université de Sidi Belabbès – Algérie.*

Abstract

The objective of this work is to cartography the lead pollution from road traffic by using lichen transplantation in various sites of Tiaret city (Algeria). In this city, the main contribution of lead pollution is by atmospheric way, mainly from road traffic. Lead emissions are under fine particulate form; particules are then collected by the thalli of lichen *Xanthoria parietina.*

46 samples of *Xanthoria parietina* were transplanted in the city during one month; concentrations of lead are expressed in weight for dry samples of *Xanthoria parietina* thalli.

Cluster analysis has made it possible to define contamination by using three classes of concentration: from 76.31 ± 3.66 ppm to 208.30 ± 38.95 ppm. Recorded values exceed the reference values of *Xanthoria* (28.35 ± 0.59 ppm). It has also been noticed that high lead concentrations are observed in the vicinities of the main road traffic places.

The cartography has been made by using the interpolation/extrapolation method of lead measurements in a limited number of places.

The map presents information coming from the Cluster Analysis and the three contamination classes are indicated by a color scale. Such a map can be used to improve spatialized knowledge of the atmospheric pollution problem in urban environment.

Keywords

Lead pollution. Road traffic. *Xanthoria parietina*. Cartography. Tiaret.

1. Introduction

La pollution atmosphérique par les métaux lourds sévit surtout en milieu urbain, non seulement à cause de la concentration des industries et des foyers domestiques, mais aussi par suite de la densité de la circulation des véhicules à moteurs. Les métaux lourds font l'objet d'une attention particulière en raison des risques qu'ils peuvent présenter pour la santé humaine et des dangers liés à leur rémanence dans les écosystèmes.

Pagotto C. [1] a montré que les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieux routiers sont de deux sortes : les véhicules et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues en partie, à l'usure et à la corrosion des matériaux du véhicule et également à l'utilisation des différents fluides.

Le principal polluant métallique émis, le plomb, se trouve dans les gaz d'échappement et dans les poussières émises par l'usure des garnitures de freins (75 % du plomb contenu dans l'essence est émis dans les gaz d'échappement des moteurs [2]). Cependant Fernandez-Cornudet C. [3] a noté que l'origine du plomb dans l'environnement était respectivement de 20 % dans les déchets agricoles, 38 % dans les déchets urbains et 40 % dans les retombées de poussières. En Algérie, l'adjonction du plomb dans l'essence est de 0,45 g/l [4]. Ce plomb est rejeté dans l'air sous forme d'aérosols. Le plomb est un polluant particulièrement toxique pour la santé humaine. Cette toxicité est renforcée par un phénomène d'assimilation et de concentration dans l'organisme qu'on appelle la bioaccumulation.

La surveillance des teneurs en éléments traces métalliques obéit à des contraintes spécifiques qui demandent le déploiement de techniques sophistiquées et coûteuses. Ces contraintes ont conduit de nombreux pays à privilégier l'utilisation d'organismes vivants dans lesquels les contaminants à surveiller sont dosés. Ainsi, depuis le début des années 1990, une trentaine de pays européens ont mis en place un réseau de biosurveillance des retombées atmosphériques métalliques à l'aide des végétaux, de lichens, de mousses, etc. [5].

Les lichens sont des organismes particulièrement bien adaptés pour l'étude des polluants atmosphériques gazeux et particulaires. Ils doivent cette efficacité à leurs particularités anatomiques (structure végétative sous forme de thalle se traduisant par un ratio surface/volume très élevé, absence de cuticule cireuse, de stomates et de vaisseaux conducteurs, présence d'un cortex riche en mucilages et souvent de structure poreuse) et leurs caractéristiques physiologiques. Ils seront de ce fait sensibles aux retombées des polluants présents à la fois dans les dépôts secs et dans les dépôts humides [6].

Deruelle S. [7] transplante des lichens à des distances comprises entre 5 et 10 m de la route. Après une exposition plus ou moins prolongée, les transplants sont remis dans leur milieu d'origine afin de retrouver une atmosphère peu polluée et des dosages sont effectués à intervalle régulier afin de pouvoir connaître l'évolution décroissante des concentrations en Pb.

Semadi A. et Deruelle S. [4] présentent deux méthodes de transplantation. La première méthode consiste à greffer un disque d'écorce supportant un lichen sur un arbre de même espèce, si possible, ou sur une planche. La deuxième méthode consiste à exposer des branches recouvertes de thalles de lichens. Les auteurs précisent que cette dernière méthode a été utilisée pour *Hypogymnia physodes* et *Ramalina duriarei,* cette méthode a été choisie, car elle s'avère plus facile. En effet, il n'est pas nécessaire d'effectuer de prélèvement à l'emporte-pièce. Les lichens sont transplantés le long d'une route réputée pour son fort trafic pendant six mois. Cette

transplantation se fait selon un transect à une distance comprise entre 5 et 100 m de la route. Des dosages de plomb sont réalisés chaque mois sur chaque transplant dans chaque site. Les dosages ont été réalisés selon une méthode similaire de celle employée par Deruelle S. [8].

Le but de ce travail est l'évaluation de la pollution par le plomb dans l'atmosphère de la ville de Tiaret, à l'aide des transplants lichéniques de *Xanthoria parietina.*

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation du milieu d'étude

L'étude a été réalisée dans la ville de Tiaret qui se trouve au Nord-Ouest de l'Algérie entre la chaîne Tellienne au Nord et la chaîne Atlassienne au Sud, à une altitude de 980 m en moyenne (Figure 1). Le climat est de type méditerranéen semi-aride avec des précipitations moyennes annuelles de 400 mm/an. Les vents prédominants viennent de l'Ouest et du Nord-Ouest, leurs vitesses moyennes varient de 3 à 4 m/s. La ville de Tiaret compte plus de 200 km de réseau routier urbain. Le parc automobile est constitué de 6 284 véhicules, tous types confondus, et 11 % du parc sont constitués de voitures neuves [9].

En 2006, le parc automobile de la Willaya (département) de Tiaret était constitué de 8 015 véhicules immatriculés. Ce parc est très hétérogène du fait de la variété des véhicules qui le constituent (véhicule particulier ou utilitaire, essence ou diesel, récent ou âgé, etc.). Sur ce total, les voitures neuves (de 0 à 5 ans) ne représentent que 11 % du parc, en revanche, les voitures de plus de 11 ans représentent 74 %. Or, ce sont justement ces véhicules âgés qui sont les plus polluants [10].

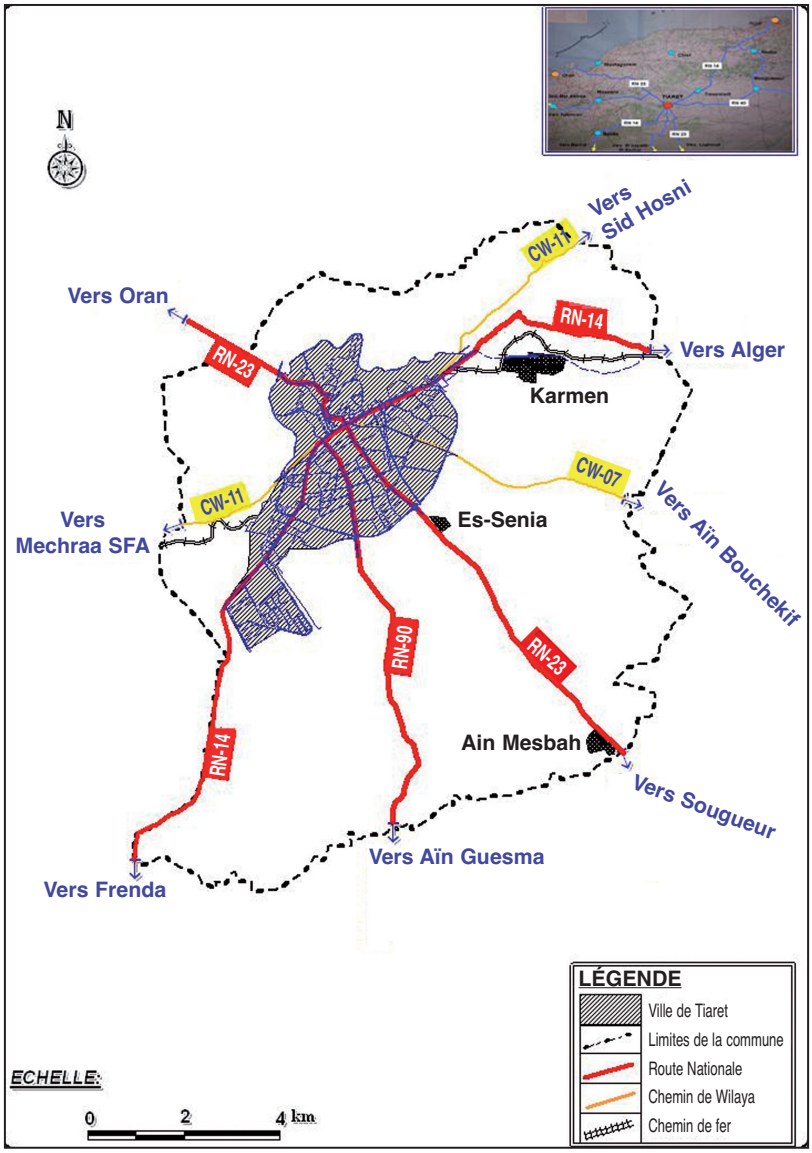


Figure 1.
Localisation de la zone d'étude.
Localization of the zone of study.

2.2. Transplantation lichénique de *Xanthoria parietina*

Xanthoria parietina est un lichen à Thalle foliacé, jaune orangé, lobes plats de 1 à 6 mm de large arrondis aux extrémités. Tests aux réactifs : K+ rouge. Apothécies : généralement nombreuses dans la partie centrale, jusqu'à 4 mm de diamètre ; il présente un disque jaune-orangé, bord thallin persistant. Spores : incolores, polariloculaires, 10-17 × 6-9 µm. Écologie : sur tout substrat, rochers acides ou calcaires, toits, troncs d'arbres.



Xanthoria parietina

Le protocole expérimental utilisé dans cette étude consiste à transplanter en ville le lichen *Xanthoria parietina,* qui, abondant dans la région de Tiaret, a déjà fait l'objet de nombreux travaux scientifiques (c'est un excellent accumulateur de métaux lourds). Cette technique de transplantation a été mise au point par [11]. Les échantillons transplantés ont été récoltés dans des régions non contaminées (la cédraie du parc national de Theniet Al Had à 120 km du Nord de Tiaret) dont les conditions écologiques sont aussi semblables que possible à celles du site de transplantation. Des lichens témoins, éloignés de toute source de contamination de pollution atmosphérique, ont été utilisés et ont servi de références lors de la comparaison avec les lichens contaminés

La transplantation a été faite en ville sur des sites repérés à partir d'un maillage (Figure 2). Les sites d'étude sont placés soit à l'intersection des mailles, soit au milieu de chaque maille (maillage du territoire de 0,5 km × 0,5 km) [6]. Sur l'ensemble, 48 lichens ont été transplantés, et chaque lichen a été fixé sur un tronc d'arbre à 1,30 m de hauteur. La durée de la transplantation a été de un mois (du 21 avril au 22 mai 2008).

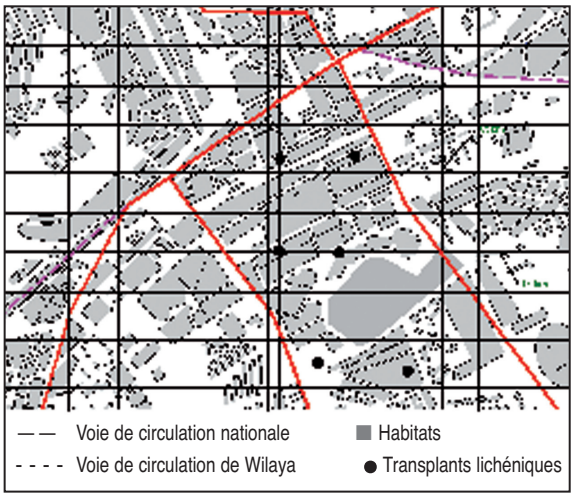


Figure 2.
Choix des sites d'études sur un maillage du territoire.
Choice of the stations on a grid map.

2.3. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement est effectué de façon à limiter les contaminations, ni pertes ni pollution, en évitant l'utilisation d'outils ou des récipients susceptibles de contaminer l'échantillon (outils en acier ou en inox, récipients dont les parois contiennent des pigments à base d'éléments en traces, par exemple PVC). Les coordonnées géographiques (x, y), de chaque transplant, ont été notées à l'aide d'un GPS. Les échantillons de lichens sont récoltés, immatriculés et transportés dans des sacs en papier le jour même de la récolte.

2.4. Traitement des échantillons

Le plus souvent, les méthodes de préparation et de dosage des métaux dans le sol sont identiques à celles utilisées pour les feuilles, les lichens, les champignons [12, 13]. La méthode utilisée est le dosage dans les thalles de lichens prélevés sur les sites d'étude. Des échantillons de lichens sont prélevés le même jour pour chaque site d'étude, face à l'autoroute et à 1,3 m du sol. Le dosage est effectué après déshydratation pendant au moins 72 heures à 105 °C, puis pesage et nettoyage à l'eau oxygénée bouillante pour minéraliser le lichen. Le dosage est effectué dans une solution décinormale de HCl [8].

Au laboratoire, les talles récoltés, sans lavage préalable, ont fait l'objet des opérations suivantes :

- déshydratation des talles : la méthode habituelle est la déshydratation en étuve à 105 ° ± 2 °C pendant 72 heures. Les talles déshydratées ont été pesées pour obtenir le poids de matière sèche MS qui est de l'ordre de 0,2 à 0,3 g ;
- broyage : cette étape est éminemment critique car elle peut être source de contaminations ou de pertes. Pour les lichens, le broyeur utilisé est un mortier en agate. Les matériaux constituant le broyeur sont constitués de titane, d'aciers garantis sans « métaux lourds ». La poudre obtenue est calcinée à l'aide des capsules en quartz dans un four dont la température est augmentée progressivement jusqu'à 500 °C ;
- minéralisation et mise en solution : la poudre fine obtenue après calcination est placée dans une solu-

tion acide et oxydante (0,5 ml de mélange d'acide nitrique HNO_3, d'acide fluorhydrique HF et d'acide perchlorique $ClHO_4$) puis chauffée dans un bain-marie, pendant 24 h jusqu'à la destruction complète de la matière organique. Les tubes qui ont été mis à ébullition sont complétés par 10 ml d'eau distillée. Cette méthode permet le dosage de l'ensemble des éléments minéraux traces.

Le dosage du plomb est réalisé par spectrométrie d'absorption atomique en mode d'atomisation électrothermique (spectromètre Perkin Elmer 100).

3. Résultats et discussion

Le dosage du plomb a été effectué sur les 46 échantillons. Dans un premier temps, nous avons cherché à regrouper les concentrations qui se ressemblent le plus entre elles. Pour parvenir à cet objectif, nous avons soumis les 46 données à une classification automatique (classification hiérarchique ascendante où la méthode d'agrégation utilisée est celle du saut minimum, les mesures de distances sont celles des distances Euclidiennes). La classification automatique permet d'individualiser trois classes de pollution. Les résultats de cette classification sont illustrés dans la Figue 3.

3.1. Teneur en plomb des classes de pollution

Les concentrations en plomb accumulées par le lichen *Xanthoria parietina,* sont présentées dans le Tableau 1, sous forme de classes de pollution définies par la classification automatique.

La lecture du Tableau 1 permet de constater que :

• les valeurs moyennes, pour l'ensemble des classes, varient de 76,31 ± 19,02 ppm (avec pour valeurs extrêmes 43,80 et 119,00 ppm) à 237,60 ± 7,02 ppm (avec pour valeurs extrêmes 229,00 et 248 ppm). Les teneurs en plomb sont plus élevées que celles des lichens témoins (28,35 ± 0,59 ppm avec valeurs extrêmes 27,8 et 29,2 ppm). Semadi A. et Deruelle S. [4] montrent que le taux moyen du plomb contenu dans les thalles de *Ramalina farinacea,* transplantés et récoltés dans la région de Annaba (Algérie) à 5 m de la chaussée, est de l'ordre de 60 ppm (µg/g) (transplantation pendant 1 mois). Ces résultats montrent donc que *Xanthoria parietina* accumule beaucoup plus le plomb que *Ramalina farinacea ;*

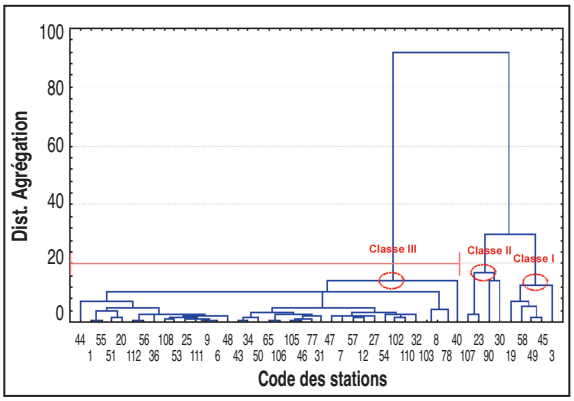


Figure 3.
Les trois classes de pollution
selon la classification automatique.
Three contamination classes according to cluster analysis.

• les fortes concentrations en plomb sont enregistrées dans la classe I, la valeur maximale peut atteindre 248 ppm. Cette classe, appelée classe chaude, regroupe les sites les plus pollués associés à un trafic très élevé soumis à une forte pente et où la fréquence du freinage et du ralenti est très grande (surtout au Nord et au centre de la ville). Maatoug M. [10] avait trouvé des fortes concentrations en plomb, dans le centre et du côté Nord de cette ville, en utilisant des feuilles de cyprès toujours vert et des feuilles de platane à feuilles d'érable ;

• les classes 2, regroupent, d'une façon régressive, les sites où les émissions du plomb sont relativement moins importantes que dans les sites de la classe 1 ;

• les faibles concentrations sont classées dans la classe 3 avec une valeur moyenne de 76,31 ± 19,2 ppm, mais toujours élevées comparativement aux sites témoins. Nous pouvons également diviser classe 3 en trois sous-classes dont les teneurs en plomb varient de 49,80 ± 4,78 à 60 ± 5,30 ppm, pour la 1re sous-classe ; de 60 ± 5,30 à 90 ± 2,80 ppm pour la 2e sous-classe et de 90 ± 2,80 à 119 ± 5,20 ppm pour la 3e sous-classe. On estime que cette classe, y compris les sous-classes, regroupent le reste des stations (37 observations) qui se caractérisent par un trafic routier relativement plus faible (le côté Sud de la ville) que les sites des classes 1 et 2. Il est important de souligner également que ces sites sont assez ouverts et bénéficient par conséquent d'une relative protection car la circulation de l'air favorise la dispersion des polluants.

Tableau 1.
Statistiques descriptives des différentes classes de pollution plombique (en ppm) dans la ville de Tiaret.
Descriptive statistics for contamination classes by lead (ppm) in Tiaret city.

	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1er Q	3e Q	Écart-type
Classe I	5	237,60	238,00	229,00	248,00	234,00	239,00	7,02
Classe II	4	194,00	192,00	184,00	208,00	185,00	203,00	11,19
Classe III	37	76,31	76,90	43,80	119,00	61,50	89,60	19,02
Témoins	4	28,35	28,20	27,80	29,20	28,00	28,70	0,59

3.2. Réalisation d'une carte de pollution plombique

La cartographie de la pollution du plomb, dans la ville de Tiaret, a été réalisée en utilisant la méthode automatique, interpolation/extrapolation des données *in situ* à l'aide des logiciels MapInfo© et Vertical mapper(™) [6]. Les coordonnées géographiques de chaque observation ont été obtenues à l'aide d'un GPS. Nous avons obtenu finalement un fichier de 46 informations avec les cordonnées (x, y, z), z étant la concentration en plomb sur le site. Le détail de cette cartographie est illustré dans la Figure 4, en tenant compte des résultats obtenus par la classification automatique.

3.3. Lecture de la carte

En examinant la carte de la Figure 5, on peut donc définir trois classes de pollution, allant en moyenne de 76,31 ppm à 237,60 ppm. Les plus fortes concentrations en plomb se trouvent dans la classe 1, indiquées par une couleur rouge. Dans cette classe, les sites les plus touchés dans le Nord sont : Ras Soug, cité Benaceur et lycée Ibn Roustoum ; au centre, nous trouvons la cité de Diar al Chams, le marché couvert et au Sud nous avons la cité Volani. Ces observations permettent de mettre en évidence la dégradation de la qualité de l'air dans ces sites. Ces observations montrent également que les retombées atmosphériques liées au trafic routier constituent

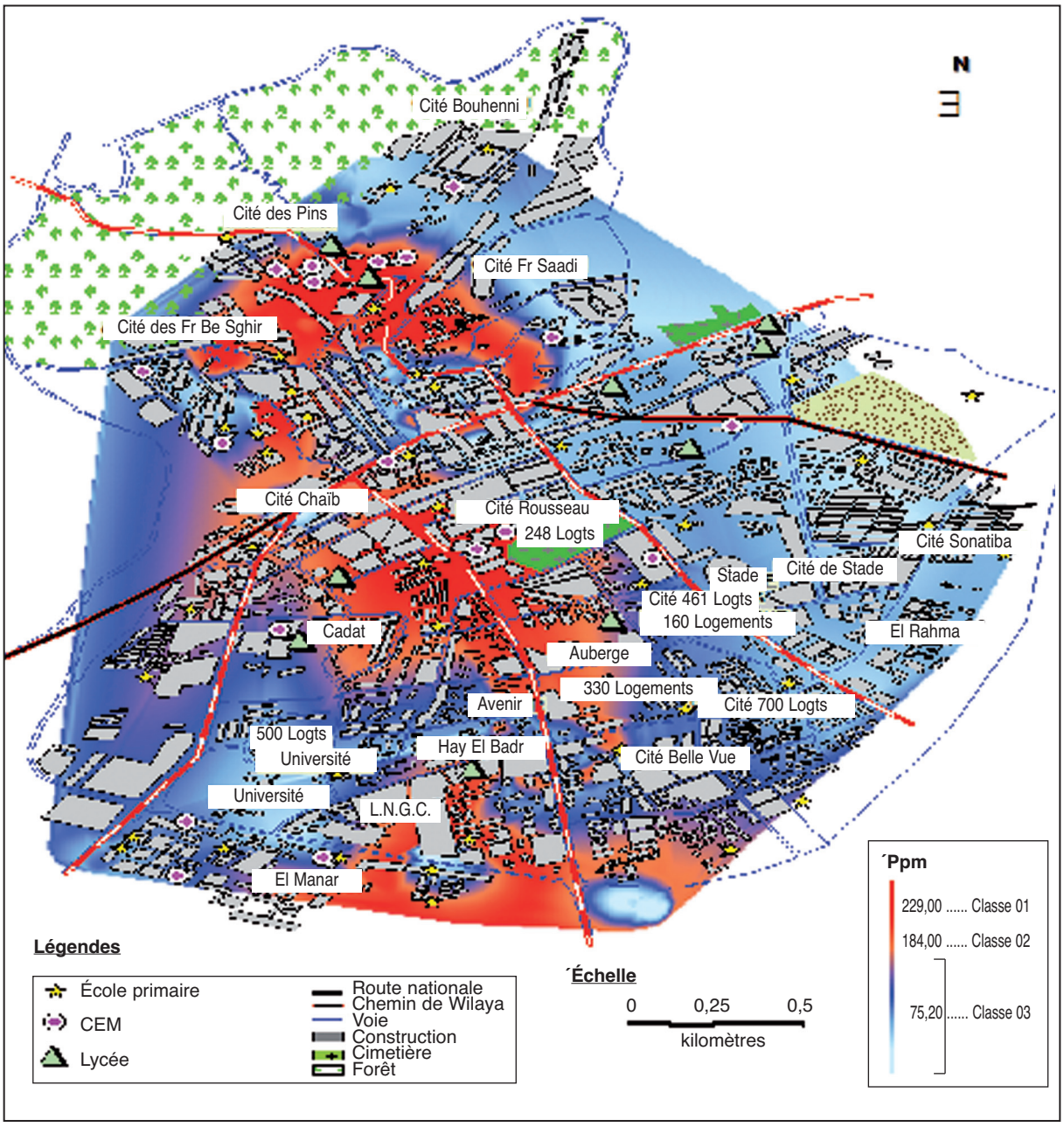


Figure 4.
Carte de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière dans la ville de Tiaret (Algérie).
Chart of atmospheric pollution by lead from road traffic in Tiaret city (Algeria).

les principales sources du plomb, sachant que l'apport de ce métal par le sol est nul. Les sites de cette classe, qualifiés de « points chauds », sont des zones montagneuses associées à des pentes relativement fortes et soumises à un trafic routier très important ; la pente oblige en effet le moteur à développer plus de puissance et à rejeter plus de polluants. La présence de voies en pente conduit donc à une augmentation considérable des émissions [14].

Des concentrations importantes ont été également observées au niveau des classes 2 qui regroupent, respectivement, les sites de Rahma, l'Hôpital, l'Académie, la cité Bouhani, la cité Volani et la cité Nevième. Ces résultats semblent indiquer, dans une première approche, que les concentrations en plomb contribuent à la mauvaise qualité d'air dans ces cités. Il est important de signaler qu'un nombre important d'écoles sont localisées dans ces points chauds et que la pollution peut constituer un danger pour la santé des élèves.

Dans la classe 3, où des valeurs faibles ont été observées, nous trouvons le reste des stations, notamment : la cité Roussou, le rond-point Machraa Sfa, le côté Sud de la cité de l'Avenir, la cité de Cia, la cité de 40 logements, le côté ouest de la cité de l'Avenir. En effet, ces sites sont assez ouverts, favorisant la dispersion de retombées atmosphériques.

3.4. Comparaison entre les teneurs en plomb accumulées par les arbres et celles accumulées par les lichens *Xanthoria parietina* transplantés dans la ville de Tiaret

Il est intéressant de rapprocher ces résultats de ceux obtenus dans une étude précédente [10] dans la ville de Tiaret mais, sur les poussières déposées sur des feuilles d'arbre.

Une quantification des retombées de plomb d'origine routière a été réalisée dans la ville de Tiaret, à partir des feuilles de deux types différents d'arbres poussant en centre ville. Il s'agit de six arbres de *Platanus acerofolia.Willd* et six arbres de *Cupressus sempervirens.L* réparties sur deux sites CV1 et CV2 (Figure 5). Pour chaque arbre, une cinquantaine de feuilles ont été prélevées et ont fait l'objet d'un dosage du plomb [10].

Sur les mêmes arbres (les mêmes sites CV1 et CV2), des lichens de *Xanthoria parietina* ont été transplantés suivant les démarches décrites en paragraphe 2.2. Les résultats de cette comparaison sont illustrés dans la Figure 6.

Nous remarquons, très nettement, que la capacité d'accumulation du plomb par *Xanthoria* est très élevée par rapport à celle des arbres ; les valeurs sont : 81,06 ± 66,08 ppm, chez le *Xanthoria* contre 0,28 ± 0,05 ppm et 0,17 ± 0,01 ppm, respectivement, chez le platane et le cyprès. Les lichens absorbent indistinctement, par leurs pseudocyphelles, l'ensemble des substances nutritives tout comme les substances toxiques. Les capacités d'absorption des métaux par les lichens sont directement liées à leurs structures morphologiques et anatomiques. Les lichens accumulent plus de métaux lorsque leurs surfaces licheniques augmentent [15].

À cause de certains traits biologiques [16], les lichens ont une réponse relativement rapide vis-à-vis de la détérioration de la qualité de l'air et sont extrêmement sensibles à d'autres types d'altérations environnementales comme les changements climatiques et l'eutrophisation [6, 17].

Pour les arbres, les fines particules chargées en plomb d'origine routière sont collectées par les surfaces foliaires. Il s'agit d'une assimilation externe des polluants métalliques. La sensible différence des concentrations en plomb entre le platane et le cyprès, est due certainement aux surfaces foliaires collectrices (principalement au niveau des cires épicuticulaires) de chaque arbre ; les feuilles de platane, qui sont lisses et larges, accumulent sensiblement mieux le plomb que le cyprès.

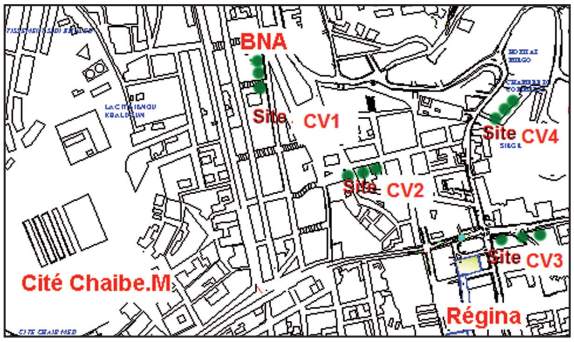


Figure 5.
Localisation de sites de prélèvements des feuilles d'arbres CV1 et CV2 d'après [10].
Location of sampling sites for leaves of trees CV1 and CV2 from [10].

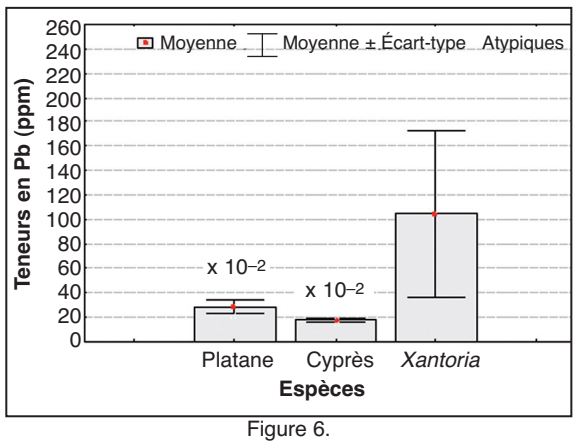


Figure 6.
Comparaison entre les teneurs en plomb accumulées par les arbres (le platane et le cyprès) et celles accumulées par les lichens *Xanthoria parietina* transplantés dans la ville de Tiaret.
Comparison between the levels of lead accumulated by trees and level accumulated by the lichen *Xanthoria parietina* transplanted in Tiaret city.

D'une manière générale, l'utilisation optimale des végétaux comme moyen d'investigation de la pollution atmosphérique concerne les cas où la voie de contamination par le sol est soit nulle, négligeable ou connue. Le transfert d'un élément trace du sol vers un organe récolté dépend à la fois de paramètres liés au sol et de facteurs propres à la plante. Il résulte en quelque sorte de la rencontre entre l'offre du sol et la demande de la plante, qui ne sont pas totalement indépendantes. C'est pourquoi les végétaux les plus utilisés pour ces études sont les mousses et les lichens grâce, entre autres, à leur absence de système racinaire.

4. Conclusion

Cette étude a été orientée sur la cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière, et sur l'estimation des concentrations de ce polluant dans la ville de Tiaret (Algérie). Le plomb a été dosé sur 48 lichens de *Xanthoria parietina,* transplantés dans différents sites localisés à proximités des axes routiers et en centre-ville.

La classification automatique, des 46 données, a permis d'individualiser trois classes de pollution dont les valeurs des concentrations du plomb varient de 76,31 ± 19,02 ppm à 237,60 ± 7,02 ppm bien au-delà des valeurs mesurées sur *Xanthoria parietina* témoin (28,35 ± 0,6 ppm). Ces résultats permettent de constater que le degré de pollution par le plomb, dont le trafic et les infrastructures routières sont à l'origine, est très élevé dans cette ville.

L'ensemble des observations constatées à partir des trois classes de pollution a fait l'objet d'une cartographie des retombées plombiques d'origine routière. Dans les classes 1 et 2 nous retrouvons les sites fermés localisés sur des zones à pente relativement forte et soumis à un trafic routier très important. C'est dans la classe 3, et ses sous-classes, qu'on trouve les sites les moins pollués, mais toujours dépassant les valeurs des prélèvements témoins. Ces sites, à trafic routier faible, sont également assez ouverts favorisant la dispersion de retombées atmosphériques. Une telle carte peut donc répondre aux questions concernant le problème de pollution atmosphérique dans cette ville.

Ces diverses études ont démontré la parfaite adéquation des lichens bioaccumalateurs pour la cartographie des différents dépôts élémentaires et la localisation des sources de métaux. Les lichens et les arbres urbains peuvent constituer des réseaux de plantes bioindicatrices de la pollution atmosphérique, dont l'utilisation se révèle être une méthode particulièrement simple, souple, économique et performante pour établir dans l'espace et dans le temps des cartographies de la pollution. L'identification de la pollution au sein d'organismes sensibles permet également de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme.

Aujourd'hui, l'usage de véhicules à moteur a considérablement augmenté en Algérie et le développement urbain et industriel a accéléré l'utilisation de ces véhicules. Cette étude confirme la nécessité de maîtriser le parc automobile et de réduire les émissions polluantes issues du trafic routier par le renouvellement du parc automobile, l'amélioration du réglage des moteurs et l'utilisation de carburants moins polluants.

Références

1. Pagotto C. Étude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métallique et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse de doctorat : chimie et microbiologie de l'eau, science et techniques. Université de Poitiers 1999 : 252 p.
2. Deletraz G. Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Biriatou (Pyrénées). Thèse de Doctorat en Géographie-Aménagement. Université de Pau et des pays de l'Adour. Institut de Recherche sur les sociétés et l'aménagement, 2002 : 564 p.
3. Fernandez-Cornudet C. Devenir du Zn, Pb et Cd issus de retombées atmosphériques dans les sols, à différentes échelles d'étude. Influence de l'usage des sols sur la distribution et la mobilité des métaux. Thèse de doctorat de l'INA-PG 2006 : 232 p.
4. Semadi A, Deruelle S. Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie). *Pollution Atmosphérique* octobre-décembre 1993 : 86-101.
5. Leblond S. Étude pluridisciplinaire du transfert des métaux de l'atmosphère vers les mousses *(Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr.) : suivi sur un site rural (Vouzon, France). Thèse de doctorat en chimie de la pollution atmosphérique et physique de l'environnement, Université Paris 7 – Denis Diderot, 2004 : 212 p.
6. Garrec JP, Van Haluwyn C. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Concepts, méthodes et applications. Éditions Tec & Doc, Lavoisier, Paris 2002 : 118 p.
7. Deruelle S. L'utilisation des lichens pour la détection de la pollution par le plomb. *Bull. Eco* 1984 : 1-6.
8. 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.

9. Agence nationale pour l'aménagement du territoire (ANAT). Direction de Tiaret. Communication personnelle, 2005.
10. Maatoug M. Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales bioaccumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu). *Pollution Atmosphérique* 2007 ; 196 : 385-94.
11. Brodo IM. Transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. *Ecology* 1961 ; 42 : 838-41.
12. Alfani A, Baldantoni D. Temporal and spatial variation of C, N, S and trace element contents in the leaves of *Quercus ilex* within the urban area of Naples. *Environ. Pollut.* 2000 ; 109 : 119-29.
13. Cuny D. Évaluation de l'impact du trafic routier de l'autoroute du Nord sur l'environnement par l'étude des lichens et des champignons supérieurs. DEA : Toxicologie de l'Environnement. Université de Metz : Université de Lille II Droit et Santé : Laboratoire de botanique et de cryptogamie 1995 : 42 p.
14. Madany I M, Ali SM, Akhter MS. Assessment of lead in roadside vegetation in Bahrain. *Environment International* 1990 ; 16 : 123-6.
15. Garty J, Kauppi M, Kauppi A. Accumulation of airborne elements from vehicles in transplanted lichens in urban sites. *Journal of Environmental Quality* 1996 ; 25 : 265-72.
16. Asta J, Erhardt W, Ferreti M, Fornassier F, Kirschbaum U, Nimis PL, Purvis OW, Pirintsos S, Scheidegger C, van Haluwyn C, Wirth V. European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress. 2003 : 20 p.
17. Galun M. Handbook of lichenology. Springer, 1988 : 181 p.