# ARTICLES

# Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales bioaccumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu)

# Detection of air pollutants from road traffic by using the bioaccumulative effect of flora species regarding some heavy metals (Pb, Zn, Cu)

M'hamed MAATOUG*(1), Benchaaben HELLAL**,
Abdelkader DELLAL*, Nadira AYAD**, Mansour BOURBATACH*

## Résumé

Ce travail a pour but de montrer l'intérêt de l'utilisation des espèces végétales pour observer la contamination aérienne en métaux lourds et de voir les relations qui pourraient exister avec certaines sources, notamment le trafic routier. Les analyses des feuilles de deux espèces végétales, le platane *(Platanus acerifolia.Wild)* et le cyprès vert *(Cupressus sempervirens.L)* permettent d'avoir des informations sur les émissions de trois métaux lourds (Pb, Zn, Cu) au niveau de la ville de Tiaret (Algérie).

Les concentrations élevées en plomb et en zinc enregistrées dans quatre sites de prélèvement, montrent que le trafic et les infrastructures routières constituent probablement une source importante de métaux lourds toxiques pour l'environnement. Le plomb et le zinc, principaux polluants métalliques, sont issus des gaz d'échappement, de l'usure des garnitures de freins, des pneumatiques et de la corrosion des glissières de sécurité. Les freins constituent une source importante de cuivre.

Le rapport matière fraîche/matière sèche des feuilles, considéré comme un indicateur de l'état de l'air dans une région donnée, est négativement corrélé avec les teneurs en éléments traces métalliques dans les végétaux. Des teneurs élevées en métaux lourds conduisent à une accentuation des carences et à une perte d'une partie du feuillage. Ce rapport, en effet, est faible dans les zones affectées d'un trafic routier très important.

Les résultats obtenus montrent aussi que les feuilles de platane, qui sont lisses et larges, accumulent plus de zinc que le plomb. Au contraire, les feuilles de cyprès ont tendance à accumuler d'avantage le plomb que le zinc. Par contre, le cuivre s'accumule faiblement dans les échantillons des deux essences.

## Mots clés

Bioaccumulation. Platane. Cyprès. Métaux lourds. Trafic routier.

## Abstract

This work illustrates the interest of the use of the flora species to observe the air pollution by heavy metals and to see the relations which could exist with certain sources and particularly road traffic. The analysis of leaves of two tree species, the plane-tree *(Platanus acerifolia.Wild)* and the cypress *(Cupressus sempervirens.L),* make it possible to have information on the emissions of three heavy metals (Pb, Zn, Cu) in the town of Tiaret (Algeria).

The high concentrations in lead and zinc registered in four different sites show that traffic and road infrastructures constitute a significant source of heavy metals, toxic for the environment. Lead and zinc, the main emitted metal pollutants, result from exhaust fumes, the wear of brakes, the tires and also from the corrosion of the safety fences. The brakes, however, constitute an important source of copper.

The ratio fresh matter/dry matter of the leaves, which is an indicator of the quality of air in a given area, is negatively correlated with the concentration of metal elements traces in leaves. High percentages of heavy metals result in an increase of deficiencies and a loss of a part of the foliage. Indeed, this effect is weak in zones where traffic is not very important.

The obtained results also show that leaves of plane-trees that are smooth and large accumulate more zinc than lead. Leaves of cypress tend to accumulate lead more than zinc. However, copper is slightly found in samples of leaves of these two species.

## Keywords

Bioaccumulation. Plane-tree. Cypress. Heavy metals. Road traffic.

** Laboratoire d'agro-biotechnologie et de nutrition en zones semi-arides, Université Ibn Khaldoun – PB 78 – Tiaret, Algérie.*

*(1) E-mail : maatoug_m@yahoo.fr. Tél./Fax : 0021346422165*

*** Laboratoire d'éco-développement des espaces, Université de Djillali Liabès, Algérie.*

## Abridged English version

Vehicle traffic and road infrastructures are the two main chronic sources of metal elements traces in road environment. Pollutant emissions related to vehicles are due either to the abrasion and corrosion of solid materials of the vehicle or to the use of various fluids.

This work illustrates the interest of the use of the flora species to evaluate the presence of air pollution due to heavy metals coming from road traffic (lead, zinc, copper). This monitoring technique uses organisms having the capacity to accumulate pollutants in their cells (bioaccumulators) by fixation and transfer mechanisms. This technique is known as an additional and interesting way for evaluating air quality, compared to the already existing traditional techniques using monitoring devices.

In this study, six sites have been selected : four urban sites named CV1, CV2, CV3 and CV4 located in the centre of Tiaret (a town situated in the north-west of Algeria and 300 km far from the capital city Algiers) and two other pilot sites. These sites are representative of the different types of environment found in the town.

In each one of the mentioned sites, six trees (plane-tree and cypress) have been selected as bio-indicators of air pollution in the town, six trees on the same site. About 50 leaves have been taken at a height varying from 1.5 m to 2 m. The first phase of this study is dedicated to the determination of the ratio fresh matter/dry matter considered as an indicator of the quality of air in a given area. The analysis of the total contents of metal elements has been achieved by using atomic absorption spectrometry on a sample of about 200 g of matter coming from each tree.

The results show that the ratio fresh matter/dry matter is higher in the pilot sites than in sites contaminated by road traffic pollutants. A low ratio can be observed in the plane-tree leaves that are the most affected. This link is negatively correlated with the contents of metal elements traces in leaves.

It has been observed that in the urban plane-tree leaves, the content in lead, zinc and copper is 50% higher than in the leaves of trees growing in pilot sites. Nevertheless, concerning cypress leaves, fairly low concentrations in lead and zinc have been registered in the town. On the other hand, only traces of copper are found in the samples of the two species. The high concentrations in lead and zinc that have been registered in the four sites of experimentation show that road infrastructures and traffic may be an important source of heavy metals in the environment. Lead and zinc, which are the two principal emitted metal pollutants, come from engine exhaust gases, wear of brakes, tyres and corrosion of the safety fences.

The obtained results also make it clear that leaves of plane-tree accumulate more zinc than lead. However, as far as the cypress-tree is concerned, the degree of accumulation of lead is more significant compared to zinc.

These biological methods contribute to set an evaluation of sanitary risks because they allow a better identification of zones that are potentially exposed to air pollution.

## 1. Introduction

Les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier ont deux origines : les véhicules et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues en partie à l'abrasion et à la corrosion des matériaux solides du véhicule et en partie à l'utilisation de différents fluides.

Le trafic et les infrastructures routières constituent une source importante de métaux lourds rejetés dans l'environnement [1]. Les principaux polluants métalliques émis, le plomb, le zinc et le cadmium sont principalement présents dans les gaz d'échappement et dans les garnitures de freins (75 % du plomb contenu dans l'essence est émis dans les gaz d'échappement des moteurs), mais le zinc est également présent dans les pneumatiques, les lubrifiants et surtout dans les glissières de sécurité [2]. C. Pagotto [3] a évalué les flux de métaux lourds provenant de la corrosion des barrières de sécurité galvanisées soit, pour un kilomètre : 1 045 g/an de zinc, 2,1 g/an de plomb, 0,23 g/an de cuivre et 0,16 g/an de cadmium. Les freins constituent une importante source de cuivre. Ces polluants s'accumulent dans les écosystèmes et, au-delà de certains seuils, ils deviennent toxiques. Le Tableau 1 indique les flux de polluants liés à ces matériaux solides [3].

Tableau 1.
Estimation des émissions polluantes
(les chiffres sont exprimés en g/kg.an pour 1 km de route, 12 000 véhicules/jour et une chaussée à deux voies).
Estimation of air pollutants emissions
(in g/kg.year for 1 km road, 12000 vehicules per day and a two track road).

| Polluants | Véhicule | | | Infrastructure | | Entretien | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pneumatique | Garniture de freins | Échappement | Chaussée | Glissières | Sel de déverglaçage | |
| Plomb | 2,6 | 438 | 7 227 | 0,01 | 2,0 | 8,5 | 7 678 |
| Zinc | 3 798 | 2 462 | 48,6 | 1,5 | 978 | 1,3 | 7 289 |
| Cuivre | 0,7 | 16 080 | 19,9 | 1,4 | 0,2 | 3,4 | 16 106 |
| Chrome | 0,2 | 18,4 | 1,5 | 4,3 | - | - | 24,4 |

À la différence de la plupart des contaminants organiques, les éléments métalliques sont des substances non biodégradables et potentiellement toxiques. Ils peuvent se disperser dans l'atmosphère, puis éventuellement retomber par voie sèche ou humide sur les sols en bordure de chaussée et sur les végétaux. Ils sont aussi susceptibles de se déposer sur la chaussée, puis d'être entraînés par le ruissellement des eaux pluviales. Les éléments traces métalliques présents dans les eaux de ruissellement peuvent migrer dans le sol par infiltration et contribuer à la dégradation de la qualité des sols. Ces éléments traces métalliques risquent d'atteindre les nappes d'eaux souterraines et d'altérer la ressource en eau [4].

De nombreux laboratoires travaillent sur la mesure des teneurs de ces substances chimiques dans les végétaux à proximité des zones urbaines et des complexes industriels. Ainsi, plusieurs chercheurs ont démontré que les plantes sensibles réagissent comme de véritables bioindicateurs de pollution. Cette technique de « biosurveillance » utilise des organismes végétaux qui ont la capacité de stocker les polluants dans leurs tissus ou sur leurs surfaces grâce à des mécanismes de fixation et de transfert. Cette technique est également proposée comme complément intéressant des techniques traditionnelles de surveillance de la qualité de l'air. La mesure des teneurs en polluants dans des végétaux sensibles permet de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme.

Les arbres et les plantes herbacées sont utilisés, non seulement pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, mais encore comme collecteurs de poussière [5]. Des échantillons de feuilles de *Quercus ilex* ont été utilisés pour le dosage des concentrations de quelques métaux tels que le fer, le zinc, le cuivre, le chrome, le nickel et le plomb dans les tissus des feuilles. Des analyses ont été faites sur des aiguilles de *Picea abies,* par microscopie à rayon X, afin de déterminer le taux en aluminium, silice, fer, titane, potassium, calcium, chlore, soufre et phosphore [6].

Dans le cadre de ce travail, l'étude a porté sur l'intérêt de l'utilisation des espèces végétales comme bioindicateurs de la contamination aérienne en métaux lourds provenant du trafic routier, seule source de contamination dans cette ville. Cette étude a pour objectif d'établir que les feuilles d'arbres poussant en zone urbaine ont la capacité de servir d'indicateurs pour la quantification relative de la pollution métallique aérienne résultant du trafic routier. Les émissions de Pb, Zn et Cu engendrées par le trafic routier se font essentiellement sous forme de fines particules qui sont ensuite collectées par les surfaces foliaires. H. Kupper *et al.* [7] ont signalé également que les contaminations majeures des feuilles des végétaux par les métaux lourds sont dues à des apports diffus par voie aérienne, par dépôt sur les parties aériennes des plantes, en fonction des conditions climatiques (vent, pluie…) et du transport des polluants. Les métaux lourds se déposent sur la superficie foliaire de la plante (cuticule et poils épidermiques). Il s'agit d'une assimilation externe des polluants métalliques. De façon générale, l'accumulation des métaux est différente selon les végétaux considérés et les parties de la plante analysées. Les teneurs en polluants mesurées dans les feuilles récemment poussées sont le plus souvent supérieures à celles détectées dans les tiges et les racines

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Présentation du milieu d'étude

La ville de Tiaret est située dans les hauts plateaux de l'Ouest Algérien à 300 km d'Alger et à une altitude de 1 000 m.

Sa population est estimée à 167 000 habitants avec un taux d'accroissement de 3,16 % sur une période s'étalant de 1977 à 2004. La ville de Tiaret compte plus de 200 km de réseau routier urbain. Elle est constituée par trois types de zones d'habitat :

- zone d'habitat en centre-ville, caractérisée par des aménagements urbains, de la voirie et des assainissements réalisés à travers différents programmes de développement ;
- zone d'habitat viabilisée mais non encore totalement aménagée ni assainie, dont l'achèvement des travaux a rencontré des difficultés dues aux coûts ;
- zone d'habitat précaire, groupant un nombre d'habitations dont l'implantation ne permet pas à la collectivité d'aménager ces sites [8].

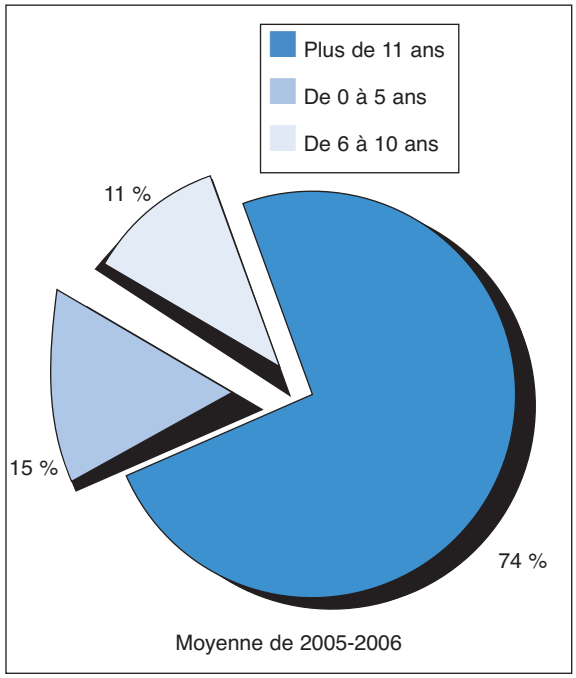



Figure 1.
Composition du parc automobile de la Wilaya de Tiaret. (Source : Service des cartes grises, Wilaya de Tiaret, communication personnelle 2006).
Composition of the vehicle fleet by age of the Wilaya of Tiaret.

En 2005, le parc automobile de la Wilaya* de Tiaret était constitué de 6 284 véhicules, tous types confondus (il s'agit du parc immatriculé, le parc roulant n'étant pas connu). Au 1er août 2006, le parc comptait 8 015 véhicules immatriculés. Ce parc est fortement hétérogène du fait de la variété des véhicules qui le constitue (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. Le parc de Tiaret se caractérise donc par un âge certain comme la montre la Figure 1. Or, ce sont justement ces véhicules âgés qui sont les plus polluants.

### 2.2. Choix des sites et du matériel végétal

Six sites ont été retenus dans cette investigation : quatre sites urbains (désignés par CV1, CV2, CV3 et CV4) situés dans le centre-ville et deux sites témoins. Les sites témoins sont éloignés de toute source de contamination de pollution atmosphérique et serviront de références lors de la comparaison avec les sites contaminés. Dans chaque site, six platanes et cyprès (trois arbres par essence) ont été choisis comme bio-indicateurs de la pollution de l'air dans la ville de Tiaret.

Il est important de souligner que les deux sites CV1 et CV2 sont localisés dans un secteur caractérisé par un trafic très élevé à forte pente où, dans un sens, les moteurs sont très sollicités et, dans l'autre sens, les freins et le frein moteur sont également très utilisés. Par contre, les sites CV3 et CV4 sont localisés dans un secteur routier relativement moins important que les sites CV1 et CV2 (Figure 2).

En pratique, des feuilles de platane à feuilles d'érable** *(Platanus acerifolia.Wild)* et des feuilles de cyprès toujours vert*** *(Cupressus sempervirens.L)* ont été sélectionnées. Les feuilles de platane fixent et accumulent les métaux lourds durant le printemps et

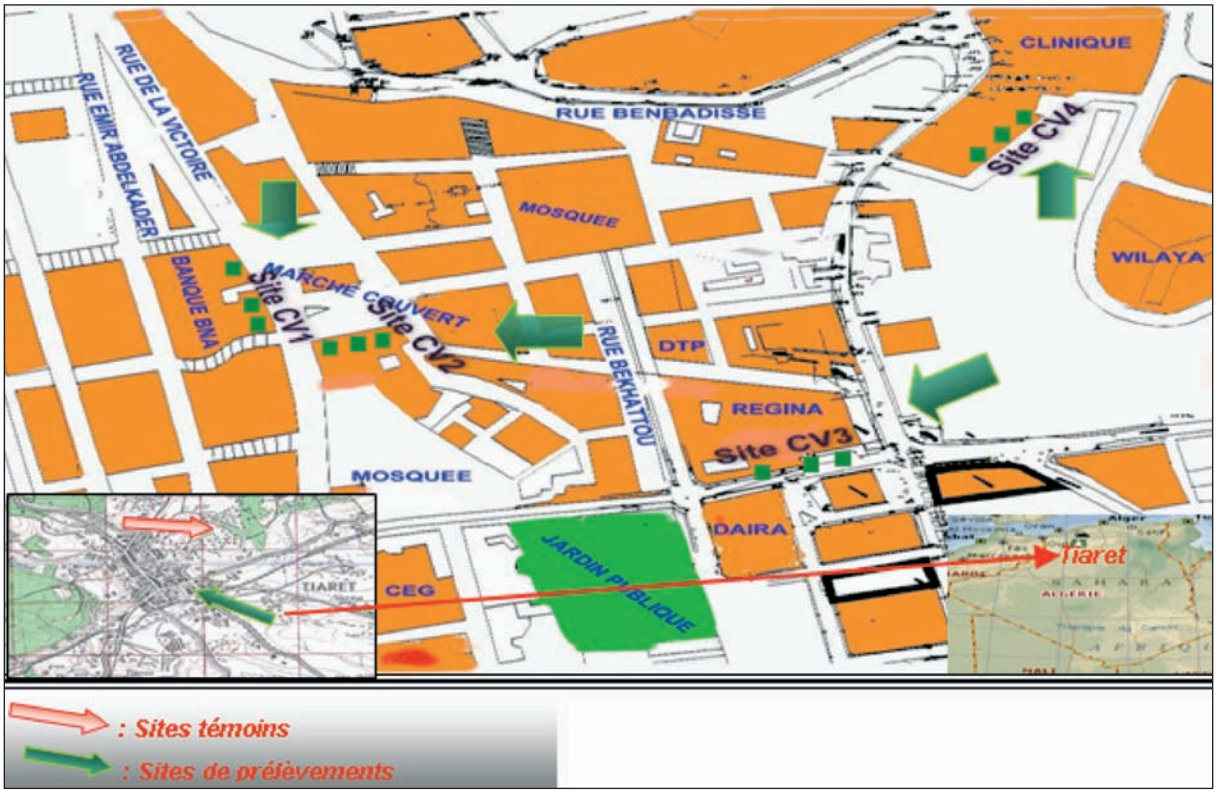



Figure 2.
Localisation des sites de mesure.
Location of the sampling sites.

** La Wilaya, en Algérie, est l'équivalent d'un département et regroupe plusieurs communes.*

*** Arbre hybride entre* Platanus orientalis *et* Platanus occidentalis. *Le platane à feuilles d'érable est un arbre qui atteint couramment 30 m de haut. Il est très souvent planté comme arbre d'alignement et d'ornement. Les feuilles palmatilobées sont alternées, pourvues de grandes stipules caduques et poilues. Les poils foliaires sont particulièrement abondants sur la face inférieure des jeunes feuilles.*

**** Arbre résineux qui peut atteindre 30 m de haut. Il était utilisé initialement comme plante ornementale et dans les jardins publics, et puis il a été utilisé également comme brise-vent et pour des reboisements. Il comprend deux variétés distinctes : la variété* horizontalis *à branches presque perpendiculaires au tronc et houppier fondamentalement conique et la variété* pyramidalis *qui possède un houppier fastigié, avec des branches adossées au tronc, courtes ou longues. Les feuilles sont opposées, persistantes, en petites écailles de 0,5 à 1 mm, minces, finement denticulées et étroitement appliquées sur les rameaux.*

l'été avant de tomber en automne. Par contre, les feuilles de cyprès accumulent ces métaux durant plusieurs années. Ces deux essences sont largement présentes dans les différents sites d'étude. Les concentrations en plomb, en zinc et en cuivre, d'origine routière, ont été déterminées dans leurs feuilles, en vue de récolter des informations sur la présence plus ou moins importante de ces trois métaux dans l'air ambiant, et de connaître les niveaux de contamination de ces végétaux par bioaccumulation.

Une cinquantaine de feuilles a été prélevée sur un même arbre entre 1,5 et 2 mètres de hauteur, afin de simplifier l'opération de prélèvement tout en évitant les contaminations dues aux projections des particules venant du sol.

#### *2.2.1. Détermination du rapport matière fraîche/matière sèche (MF/MS)*

La toxicité d'un polluant peut donner naissance, selon les cas, à des symptômes spécifiques visibles en surface tels que des nécroses, des taches, etc., et altérer certaines fonctions physiologiques du végétal.

Le rapport matière fraîche/matière sèche (MF/MS) est l'un des indicateurs de la santé d'un végétal dans une région donnée. En effet, plus l'air est sain, plus le développement du végétal est normal (le poids de la matière fraîche est normal) ; par contre, si l'air est contaminé, le développement du végétal est perturbé, entraînant des chloroses, des nécroses, etc., au détriment de la matière fraîche [9]. Le rapport MF/MS d'une zone polluée est inférieur à celui enregistré dans une zone non polluée.

Le prélèvement a été réalisé après une période sans pluie, un mois après la sortie des feuilles et des jeunes aiguilles. Les feuilles récoltées et préalablement mesurées ont été mises dans des sachets en plastique fermés, afin de veiller à la conservation de l'eau d'évaporation. Au laboratoire, les feuilles ont été pesées afin d'obtenir le poids de la matière fraîche et placées ensuite à l'étuve (110 °C) pour avoir le poids de la matière sèche. Le rapport MF/MS a ensuite été calculé.

#### 2.2.2. Traitement des échantillons

La détermination des teneurs totales en éléments métalliques dans les feuilles nécessite une mise en solution. Elle se fait par attaque de l'acide nitrique des phases solides comme suit :

- 200 mg de feuilles récoltées dans chaque arbre, sans lavage préalable, ont été séchés puis broyés. La poudre très fine obtenue a été mise en solution avec 0,5 ml d'acide nitrique dans des tubes de 10 ml en polypropylène et gradués ;
- après incubation pendant 24 h, les tubes ont été portés à ébullition dans un bain-marie et complétés par 10 ml d'eau distillée ;
- la quantification des métaux en solution a été réalisée par spectrométrie d'absorption atomique en mode d'atomisation électrothermique (spectromètre Perkin Elmer 100) [10].

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Comparaison du rapport MF/MS de sites pollués avec les sites témoins

L'analyse des données (Tableau 2) permet, dans un premier temps, de constater que le rapport MF/MS est élevé dans les sites témoins, en comparaison avec les autres sites. Cependant, on remarque un faible rapport pour les feuilles de platane, qui sont les plus touchées. Le dessèchement foliaire des feuilles de platane permet d'évaluer la qualité de l'air dans la ville mieux que ne le fait le cyprès. En effet, le faible poids de la matière fraîche dans ces sites trouve son explication par l'effet probable de la pollution issue du trafic routier sur la vigueur et l'activité physiologique de la plante, qui pousse dans des conditions associées au trafic routier. G.-K. Sharma [11] constate que des signes de chlorose et de nécrose, suggérant des dommages aux tissus mésophylliens des feuilles, apparaissent sur des plants de *Cannabis indica* qui poussent le long des autoroutes. En effet, dans les villes et au voisinage des grands axes de circulation routière, les feuilles des arbres sont de très bons collecteurs de poussières et de métaux lourds, causant une diminution de l'activité photosynthétique de l'arbre, une réduction de la croissance, des nécroses foliaires, des décolorations foliaires, entraînant par la suite la diminution du poids de la matière fraîche des feuilles récoltées, et par conséquence, un rapport MF/MS faible

De nombreuses études confirment l'affaiblissement de végétaux situés en bordure de voies routières. Des études sur des clones de peuplier, soumis en chambre à des fumigations avec des gaz d'échappement, montrent une résistance à la diffusion de ces gaz due à l'ouverture des stomates qui restent ouverts [12]. La capacité de ces stomates à réguler les mouvements de fermeture et d'ouverture est inhibée par des composants des gaz d'échappement. Des expériences en plein-champ, à proximité d'une autoroute, confirment cette possibilité d'action des gaz d'échappement sur les stomates. De même, G. Deletraz et E. Paul [13] montrent que la résistance à la diffusion des plantes qui poussent près d'une autoroute est diminuée par rapport à celles qui poussent à 200 m ; le phénomène étant particulièrement marqué aux heures chaudes de la journée. Les stomates restent anormalement ouverts, ce qui provoque une transpiration excessive qui peut être dommageable pour les plantes (stress hydrique) ; cette activité élevée est un signe indiquant une sénescence précoce [14]. De même, H. Kammerbauer *et al.* [15] et G.-H. Bhatti *et al.* [16] ont montré que la croissance des nouvelles pousses chez le sapin de Norvège est réduite de 25 % en bordure d'autoroute par rapport aux arbres témoins, ce qui se traduit par une diminution de la taille des aiguilles.

Des réductions de croissance, des nécroses ou des décolorations foliaires sont souvent observées sur des végétaux croissant dans le voisinage des grands axes de circulation routière, entraînant la dimi-

Tableau 2.
Comparaison du rapport MF/MS dans les feuilles de sites pollués et de sites témoins.
Comparison of the MF/MS ratio in leaves in polluted sites and in reference sites.

| Site | Espèce utilisée | Nombre d'arbres | Nombre de répétitions /arbre | N | Moyenne | Minimum | Maximum | Écart-type |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CV1 | Platane | 3 | 2 | 6 | 3,11 | 3,10 | 3,12 | 0,007 |
| | Cyprès | 3 | 2 | 6 | 3,42 | 3,40 | 3,44 | 0,110 |
| CV2 | Platane | 3 | 2 | 6 | 2,68 | 2,68 | 2,69 | 0,002 |
| | Cyprès | 3 | 2 | 6 | 2,58 | 2,58 | 2,59 | 0,004 |
| CV3 | Platane | 3 | 2 | 6 | 2,94 | 2,94 | 2,96 | 0,007 |
| | Cyprès | 3 | 2 | 6 | 3,91 | 3,91 | 3,92 | 0,003 |
| CV4 | Platane | 3 | 2 | 6 | 2,72 | 2,72 | 2,72 | 0,002 |
| | Cyprès | 3 | 2 | 6 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 0,001 |
| Témoins | Platane | 3 | 2 | 6 | **7,52** | 7,52 | 7,53 | 0,004 |
| | Cyprès | 3 | 2 | 6 | **3,85** | 3,85 | 3,86 | 0,004 |

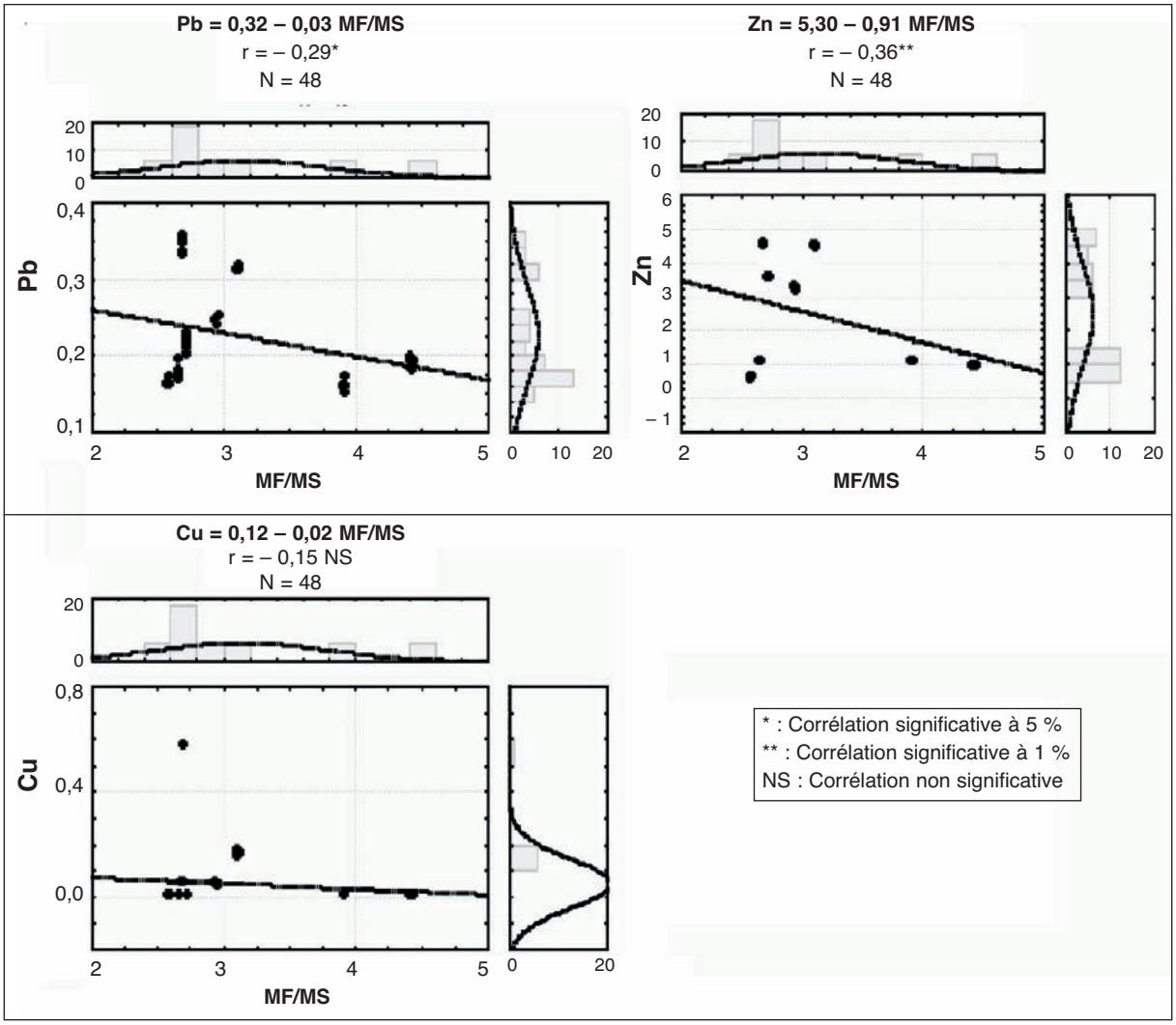



Figure 3.
Corrélation entre le rapport MF/MS et les teneurs en éléments traces métalliques (Pb, Zn, Cu).
Correlation between MF/MS ratio and content of metal trace elements (Pb, Zn, Cu).

nution du poids de la matière fraîche des feuilles récoltées et entraînant par conséquence un rapport MF/MS faible. On observe de tels résultats sur la Figure 3 qui montre une corrélation significativement négative pour le Pb (r = – 0,29*) ; cette corrélation est plus significative pour le Zn (r = – 0,36**), mais n'est en revanche pas significative pour le Cu. En effet, plus le rapport MF/MS est faible (le poids de la matière fraîche est faible), plus les teneurs en éléments traces sont élevées. Les effets des polluants liés au trafic routier sur la croissance et le développement des plantes doivent donc être considérés comme des altérations de leur physiologie.

### 3.2. Teneurs en éléments traces métalliques (Pb, Zn, Cu) dans les feuilles dans les différents sites de prélèvement

Les concentrations en métaux lourds accumulés par les feuilles de platane et de cyprès sont présentées dans la Figure 4 sur laquelle on constate que :

- dans le cas des feuilles de platanes situés dans les sites urbains, feuilles qui sont lisses et larges, les teneurs en plomb, en zinc et en cuivre (les valeurs moyennes, pour l'ensemble des sites, sont respectivement : 0,28 ± 0,05 ; 3,97 ± 0,58 et 0,092 ± 0,11 ppm) sont plus élevées d'environ 50 % que celles des feuilles des arbres poussant en sites témoins (valeurs enregistrées, respectivement : 0,13 ± 0,001 ; 1,31 ± 0,005 et 0,01 ± 0,00 ppm) ;
- dans le cas des feuilles de cyprès, des concentrations en plomb et en zinc, moyennement faibles, ont été enregistrées en ville (les valeurs moyennes, pour l'ensemble des sites, sont respectivement : 0,17 ± 0,013 et 0,93 ± 0,20 ppm comparativement aux sites témoins, de l'ordre de 0,10 ± 0,005 et 0,4 ± 0,00 ppm).

On note que des concentrations élevées pour les trois éléments mesurés ont été enregistrées dans les sites CV1 et CV2, caractérisés par des pentes relativement fortes et par un trafic routier très important. La pente oblige en effet le moteur à développer plus de puissance, donc à rejeter plus de polluants. La présence de pentes entraîne donc une augmentation considérable des émissions [17].

Par ailleurs, pour tous les sites mesurés, des niveaux de concentrations égaux en cuivre ont été

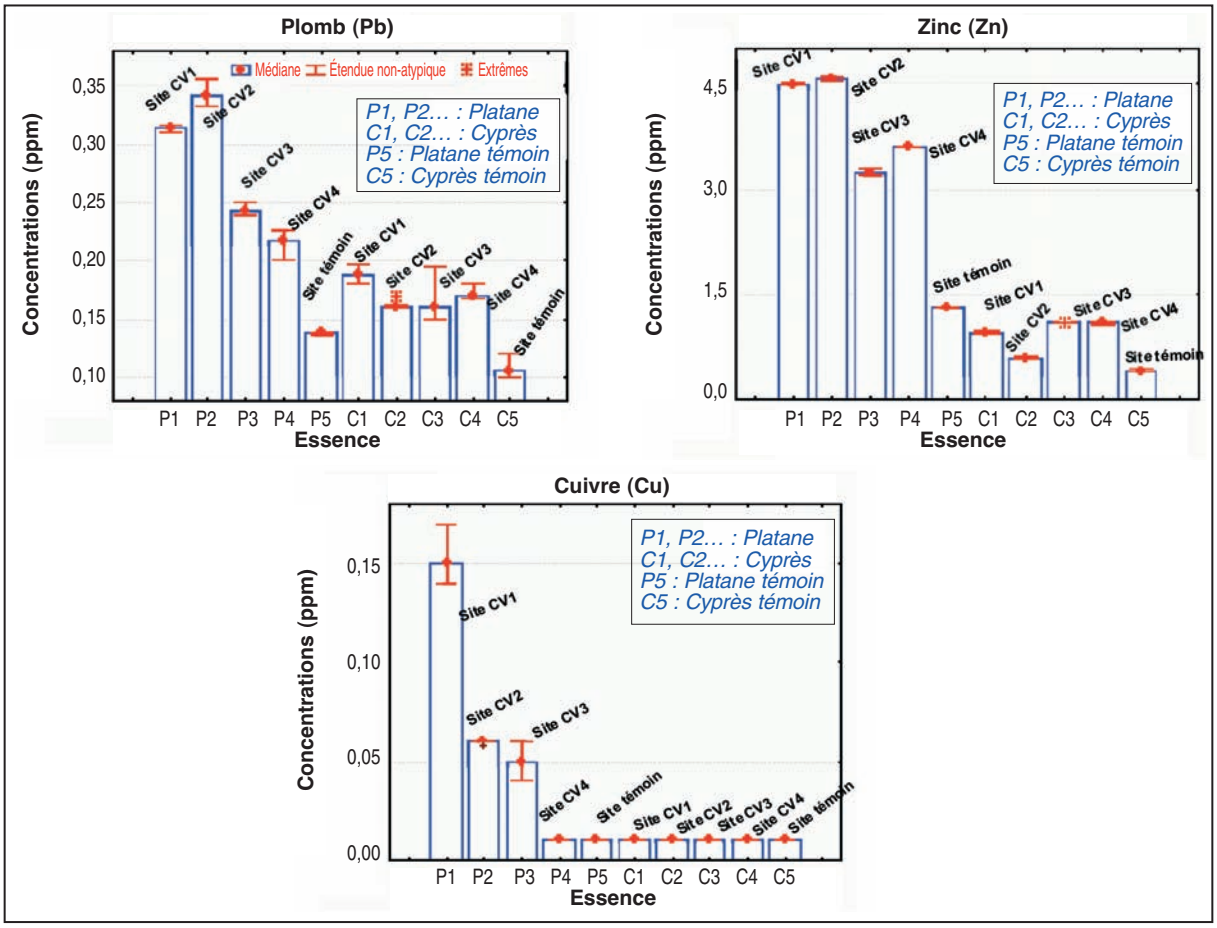



Figure 4.
Représentation à l'aide de boîtes à moustache des teneurs en éléments traces métalliques (Pb, Zn, Cu) dans les feuilles des différents sites de prélèvement.
Presentation with Box Plots of metal trace elements contents in leaves collected in the different sampling sites.

** Corrélation significative à 5 %.*

*** Corrélation significative à 1 %.*

observés (0,01 ppm) aussi bien pour le cyprès urbain que pour le cyprès témoin, site témoin où la présence de cuivre est en principe plus faible.

Plusieurs facteurs peuvent intervenir dans la sensibilité des feuilles aux polluants, à savoir : les particules émises par le trafic routier sont mieux captées par les surfaces rugueuses ; la présence d'une pilosité favorise la rétention des particules mieux que ne le fait un épiderme lisse. En effet, la différence de concentration des métaux accumulés, entre le platane et le cyprès, est due d'une part aux surfaces foliaires collectrices des particules (principalement au niveau des cires épicuticulaires), et d'autre part aux particules de plomb et de zinc qui sont de nature différente. J.-P. Garrec et C. Van Haluwyn [18] ont montré que les polluants organiques gazeux et particulaires s'accumulent essentiellement sur les surfaces foliaires à cause des propriétés fortement lipophiles des cires cuticulaires, avec peu d'effets perturbateurs pour les végétaux. Il est à noter que pour un même site et une même exposition à la pollution automobile, les feuilles de *Terminalia catapa* qui sont rugueuses et larges accumulent environ deux fois plus de plomb que les feuilles de *Nerium oleander* qui sont lisses et larges [19].

### 3.3. Relation entre les teneurs en éléments traces métalliques (Pb, Zn, Cu) et les sites urbains

Les résultats de l'étude ont fait l'objet d'une analyse factorielle des correspondances (AFC) en cherchant à expliciter les relations existant entre les variables suivantes : concentrations des éléments traces métalliques (Pb, Zn, Cu) et nature des sites urbains contaminés par ces éléments. Dans un premier temps, on dispose d'un tableau à une seule entrée constituée par les données de quatre sites (2 mesures par arbre, soit 6 mesures par site), puis les variables dites lignes (4 sites) ont été reliées aux valeurs des concentrations des éléments traces métalliques, dites variables colonnes, à l'aide d'une table croisée.

Pour cette analyse, les pourcentages d'inertie montrés par chacun des axes ont été pris en considération. Les écarts des pourcentages d'inertie ont permis de connaître le nombre d'axes susceptibles d'être interprétés. Les résultats de cette AFC sont illustrés dans la Figure 5.

Deux axes sont susceptibles d'être interprétés. Ils montrent que près de 75 % et 25 % de la dispersion du nuage des variables se fait respectivement dans le plan de ces deux axes :

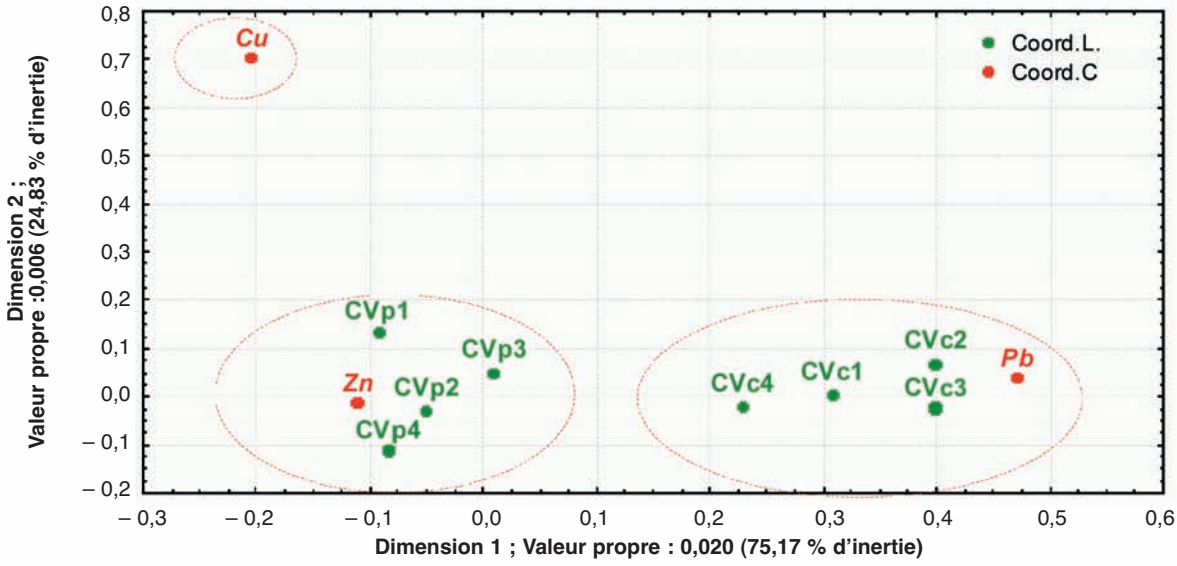
- l'axe n° 1 (75,17 % de l'inertie totale du nuage) :

– les variables qui contribuent essentiellement à l'inertie de cet axe sont :

**du côté négatif :**

• variables lignes : les quatre sites urbains CVp1, CVp2, CVp3 et CVp4 où le platane s'est révélé comme essence bioaccumulatrice ;

• variables colonnes : une seule modalité a été trouvée : le zinc (Zn). Cette association reliant les quatre sites urbains et l'accumulation du zinc explique que le platane accumule le zinc mieux que le plomb, malgré les concentrations probablement élevées de plomb enregistrées dans ces sites.




Légende :
CVp1...CVp4 : sites du centre-ville (espèce bioaccumulatrice : platane)
CVc1...CVc4 : sites du centre-ville (espèce bioaccumulatrice : cyprès)

Figure 5.
Résultats de l'analyse des correspondances entre les teneurs en éléments traces métalliques et les sites pollués.
Results of the correspondence analysis between metal trace elements contents in leaves and sampling sites in town.

**du côté positif :**

• l'examen de l'axe 1 sur le côté positif permet de définir l'association des quatre sites urbains CVc1, CVc2, CVc3 et CVc4 en utilisant le cyprès avec le plomb (Pb). Donc le cyprès a une tendance à accumuler d'avantage le plomb que le zinc.

• l'axe n° 2 (24,83 % de l'inertie totale du nuage) :

– dans cet axe, une seule modalité a été trouvée : le cuivre (Cu). Il a été confirmé, d'après la Figure 4, que le cuivre est faiblement accumulé par le platane. Par contre, il ne s'accumule pas du tout dans les feuilles de cyprès. Ces résultats confirment les observations de l'AFC sur cet axe. Il faut noter également que le cuivre est un oligo-élément indispensable au fonctionnement physiologique de la plante ; en l'occurrence, il est probable que les faibles teneurs en cuivre ont été utilisées par les arbres.

## 4. Conclusion

Le but de ce travail était de déterminer les concentrations de trois métaux lourds (Pb, Zn, Cu) mesurées dans des feuilles de deux types d'arbres, le platane et le cyprès, prélevées dans la zone urbaine de Tiaret, ceci afin d'estimer les retombées métalliques d'origine routière en milieu urbain. La mesure des teneurs de ces trois minéraux, dans des végétaux bien choisis, permet d'avoir une indication relative d'un risque éventuel présenté par ces polluants.

La littérature montre que le trafic et les infrastructures routières constituent une source importante en métaux lourds pour l'environnement. Le plomb et le zinc, principaux polluants métalliques émis, sont issus des gaz d'échappement et probablement de l'usure des garnitures de freins.

Les résultats trouvés montrent que, dans le cas des feuilles de platanes, les teneurs en plomb, en zinc et en cuivre sont, respectivement, de l'ordre de 0,28, 3,97 et 0,092 ppm contre 0,13, 1,31 et 0,01 ppm dans les sites témoins. En revanche, des concentrations en plomb et en zinc moyennement faibles ont été enregistrées dans le cas des feuilles de cyprès, et les valeurs moyennes pour l'ensemble des sites sont respectivement de 0,17 et 0,93 ppm contre 0,10 et 0,4 ppm dans les sites témoins.

On a constaté que les feuilles de platane accumulent d'avantage le zinc que le plomb. Pour le cyprès, le niveau d'accumulation du plomb est plus important que celui du zinc. Par contre, des concentrations très faibles ou nulles en cuivre ont été observées chez les deux essences (pour tous les sites mesurés, des concentrations équivalentes en cuivre de l'ordre de 0,01 ppm ont été observées, aussi bien pour le cyprès urbain que pour le cyprès témoin).

Le rapport matière fraîche/matière sèche (MF/MS) constitue un bon indicateur de la qualité de l'air dans la zone d'investigation. Ce rapport est corrélé négativement avec les teneurs en éléments traces dans les végétaux. Ce rapport est extrêmement faible dans les sites contaminés.

Ces résultats confirment aussi l'intérêt de l'utilisation des feuilles des végétaux ligneux comme bioindicatrices de la contamination d'origine atmosphérique. Ces méthodes biologiques contribuent à une évaluation des risques sanitaires pour les végétaux car elles permettent de mieux identifier les zones potentiellement exposées à la pollution de l'air. Ces observations confirment également la nécessité de réduire les émissions polluantes issues du trafic routier par le renouvellement du parc automobile, l'amélioration du réglage de la combustion des moteurs et l'utilisation de carburants moins polluants.

## Références


1. Delmas-Gadras C. Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier. Thèse de doctorat de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, spécialité chimie et microbiologie de l'eau. 2000. 191 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. 2000. 564 p.
3. Pagotto C. Étude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse de chimie et microbiologie de l'eau. Sciences et technique. Université de Poitiers. 1999. 252 p.
4. Delmas-Gadras C. Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier. Thèse de Docteur de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Spécialité : chimie et microbiologie de l'eau. 2000. 191 p.
5. Ozenda P. Les végétaux dans la biosphère. Éditions Doin, Paris 1982. 431 p.
6. Cotrufo MF, Virzo De Santo A, Alfani A, Bartoli G, De Cristofaro A. Effects of urban heavy metal pollution on organic matter decomposition in *Quercus ilex* L. Woods. *Environmental Pollution* 1995 ; 89 (1) : 81-7.

7. Kupper H, Lombi E, Zhao FJ, Wieshammer G, McGrath SP. Cellular compartmentation of nickel in the hyperaccumulators Alyssum lesbiacum, Alyssum bertolonii and Thlaspi goesingense. *Journal of Experimental Botany* 2001 ; 52 : 2291-300.
8. Agence nationale pour l'aménagement du territoire (ANAT). Direction de Tiaret. Communication personnelle. 2005.
9. Belouahem D. Détection de la pollution atmosphérique fluorée d'origine industrielle à l'aide de certaines espèces végétales bioaccumulatrices dans les régions de Annaba et Taraf. Thèse de Magister. INA 1993. 165 p.
10. Technique spectrométrique, 1997 : méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Guide publié par l'École nationale supérieure des Mines de Saint-Étienne. Axe : métaux lourds. 49 p.
11. Sharma GK. Plant cuticular complex in response to highway pollution. *The Science of the Total Environment* 1987 ; 59 : 303-7.
12. Flückiger W, Flückiger-Keller H, Oertli JJ. Inhibition of the regulatory ability of stomata caused by exhaust gases. *Separatum Experientia* 1978 ; 34 : 1274.
13. Deletraz G, Paul E. État de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes. Rapport de la Sociétés-Environnement-Territoires (SET) et du Laboratoire de la montagne alpine (LAMA). Équipe SIG. Espace Serge Martin. 1998. 144 p.
14. Jones HP, Clement CR, Hopper MJ. Lead uptake from solution by perennial ryegrass and its transport from roots to shoots. *Plant Soil* 1973 ; 38 : 403-14.
15. Kammerbauer H, Selinger H, Römmelt R, Ziegler-Jöns A, Knoppik D, Hock B. Toxic components of motor vehicle emissions for the spruce Picea. *Environmental Pollution* 1987 ; 48 : 235-43.
16. Bhatti GH, Iqbal MZ. Investigations into the effect of automobile exhausts on the phenology, periodicity and productivity of some roadside trees. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 1988 ; 57 (3) : 395-9.
17. Joumard R, Lamure C, Lambert J. Politiques de transport et qualité de l'air dans les agglomérations. LEN n° 9515, Bron (France). INRETS 1995. 125 p.
18. 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.
19. Madany IM, Ali SM, Akhter MS. Assessment of lead in roadside vegetation in Bahrain. *Environment International* 1990 ; 16 : 123-6.