

# Accumulation du plomb par quelques espèces végétales cultivées au voisinage d'une fonderie de plomb à Sfax

## Lead accumulation by some plant species cultivated in the vicinity of a lead factory in Sfax

Nada ELLOUMI\*, Ferjani BEN ABDALLAH\*,  
Imed MEZGHANI\*, Makki BOUKHRIS\*

### Résumé

Les émissions atmosphériques, particulièrement les particules concentrées en métaux lourds ont des effets chroniques gênants pour l'environnement. L'objectif de ce travail consiste à évaluer l'accumulation du plomb issu d'une fonderie, implantée dans la zone côtière de la ville de Sfax (Tunisie), sur les végétaux avoisinants en fonction du temps, de la distance et des facteurs climatiques par rapport à la source d'émission. Les résultats d'analyse ont montré une accumulation importante du plomb par les plantes situées au voisinage de l'usine. Les espèces végétales suivies au cours de cette étude (l'olivier, le palmier dattier, l'amandier, le grenadier et la vigne) ont montré un pouvoir d'accumulation élevé et variable. Les concentrations les plus importantes, de l'ordre de 400 µg/g MS ont été enregistrées dans les feuilles non lavées des oliviers voisins de l'usine. Une baisse rapide et considérable en cet élément a été enregistrée pour les mêmes végétaux situés à une distance supérieure à 1 km. L'étude des effets d'interaction de plusieurs facteurs, tels que les facteurs climatiques et la diversité des espèces végétales, a montré que le degré d'accumulation du plomb par les plantes est en relation avec la direction du vent et la distance de la source d'émission. Les concentrations en plomb des plantes implantées au nord-ouest de l'usine et exposées à la direction sud-est du vent, sont plus élevées que celles des plantes exposées à d'autres directions. Les fortes concentrations en cet élément au voisinage de l'usine semblent confirmer que les retombées de particules et de polluants gazeux sur les terrains entourant l'usine sont d'autant plus importantes que la hauteur de la cheminée est réduite.

### Abstract

Atmospheric emissions, particularly the particles containing high concentrations of heavy metals, have harmful effects on the environment. The aim of this work is to evaluate the accumulation of a lead factory emissions, on the vegetation near the factory in function of time, distance and climatic factors. Analyses results have showed an important lead accumulation by vegetation located in the vicinity of the factory. Plant species studied here (olive trees, palm trees, almond trees, pomegranate trees and vine) have shown high and variable lead accumulation. Highest concentrations (over than 400 µg/g) were recorded in non-washed leaves of olive trees surrounding the factory. Rapid and considerable decrease of lead content was, however, recorded for the same species situated at a distance bigger than 1 km from the source. Interaction effects study of several factors, such as climatic factors and diversity of plant species on lead accumulation by plants, have shown that the degree of lead accumulation was related to wind direction and distance from pollution source. Lead concentrations in species planted in the NW of the factory and exposed to SE wind direction were higher than that of ones exposed to any other direction. High lead concentrations in the vicinity of the factory seem to indicate that particles and gaseous pollutants fallout in the surrounding of the factory are as much important as the chimney height is reduced.

\* *Faculté des Sciences de Sfax. Laboratoire d'Écologie Végétale. Unité de Recherche Biologie et Écologie de la végétation en milieu aride. Route de Soukra, BP 802, 3018 Sfax, Tunisie.*

## Introduction

Les plantes sont exposées en continu à une multitude de stress qui peuvent être soit d'origine biotique comme les infections par les virus, les bactéries et les champignons, soit abiotiques comme les variations extrêmes de température, de sécheresse et d'inondations.

Outre ces stress d'origine naturelle, les plantes subissent d'innombrables agressions d'origine anthropique provenant en partie de la pollution de l'atmosphère. En effet, le développement des activités industrielles et agricoles a contribué, au cours de ces dernières décennies, à la contamination des agro-systèmes par des polluants atmosphériques, particulièrement les métaux lourds [1,2]. Parmi ces polluants qui ont tendance à se concentrer de plus en plus dans la biosphère, nous signalons le plomb, qui peut avoir une origine double liée à l'activité routière [3-6] et industrielle [5, 7].

L'effet du plomb sur la santé, son mode d'action biochimique, son accumulation dans l'air et dans le sol ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche [6, 8-12]. Dans ce contexte, la directive européenne du 3 décembre 1982 a fixé une valeur limite pour le plomb contenu dans l'atmosphère, à  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne arithmétique annuelle. Cette valeur a été révisée à la baisse en 1987 par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et fixée à  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [13-15]. Baker et Brooks [16, 17] ont enregistré environ 400 plantes hyperaccumulatrices de métaux lourds à partir des sols métallifères. Parmi ces espèces, 317 sont hyperaccumulatrices de nickel (37 familles) et 14 de plomb (6 familles). Dans la région de Sfax et depuis une dizaine d'années, l'environnement de la ville a fait l'objet de nombreux travaux de recherche intéressant l'impact du dioxyde de soufre, des composés fluorés, du phosphore et du cadmium sur les végétaux supérieurs [18-20]. Dans le cadre de ce travail, nous étudions l'impact et l'effet des émissions atmosphériques issues d'une fonderie de plomb, implantée dans la zone côtière de la ville de Sfax, sur les végétaux et explorons leur capacité à accumuler le plomb tout en tenant compte des facteurs climatiques, des variétés d'espèces végétales et de la distance par rapport à la source de pollution.

## Matériel et méthodes

Des feuilles homogènes de même âge, appartenant à cinq espèces végétales cultivées (l'olivier : *Olea europaea*, le grenadier : *Punica granatum*, l'amandier : *Amygdalis communis*, la vigne : *Vitis vinifera*, le palmier dattier : *Phoenix dactylifera*), ont été prélevées à une hauteur de 2 m par rapport au sol en essayant toujours d'exclure les dernières feuilles du rameau, puisque considérées comme juvéniles. L'échantillonnage effectué sur tous les côtés de l'espèce végétale a duré du mois d'avril au mois de juillet et ce, au voisinage d'une fonderie de plomb située dans la zone industrielle sud de la ville

de Sfax (Figure 1, ci-contre). À proximité de cette fonderie de plomb, principale source émettrice de ce métal, on trouve la Société industrielle d'acide phosphorique et d'engrais (SIAPE) qui représente la principale source d'émissions atmosphériques concentrées en composés fluorés, en gaz sulfureux ( $\text{SO}_2$ ) et en poussières riches en métaux lourds (Tableau 1, ci-contre).

Ces prélèvements ont été réalisés suivant quatre directions par rapport à la fonderie, avec une équidistance de 250 m, à raison de trois répétitions par plante (Figure 1).

Le plomb a été déterminé dans les feuilles lavées et non lavées. Le lavage des feuilles a été réalisé par l'eau distillée dans un récipient en verre placé dans un bain à ultrasons de fréquence 200 Hz pendant 15 minutes. Les feuilles lavées et non lavées sont ensuite séchées à l'étuve à une température de  $80^\circ\text{C}$  pendant 24 heures, puis broyées. La matière sèche obtenue est minéralisée par une attaque d'acide nitrique et perchlorique à ébullition. La concentration du plomb a été déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique à effet Zeeman avec une limite de détection de  $0,004 \mu\text{g}/\text{g}$ .

En ce qui concerne le sol, les échantillons ont été prélevés à trois niveaux : 0 cm, 20 cm et 40 cm de profondeur, puis tamisés à 2 mm. La fraction fine du sol récupérée a été ensuite séchée à  $105^\circ\text{C}$  pendant 48 heures, puis minéralisée par une attaque nitrochlorhydrique. La concentration des échantillons en plomb a été déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique à effet Zeeman. Les résultats analytiques sont exprimés en  $\mu\text{g}/\text{g}$  de matière sèche.

Enfin, le pH du sol a été déterminé après agitation de l'échantillon dans l'eau distillée pendant 8 heures et selon le rapport sol/eau = 1/2,5.

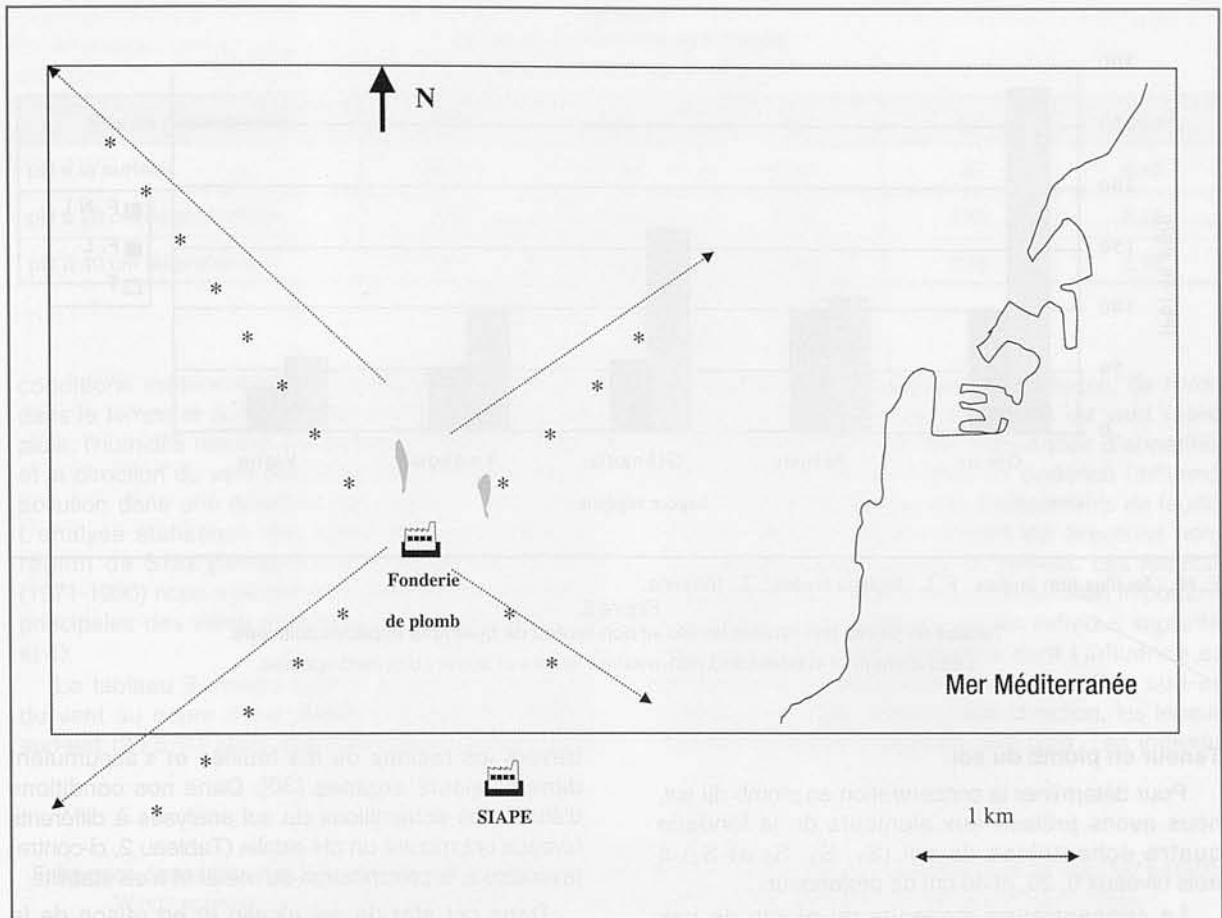
## Résultats et discussion

### Accumulation du plomb dans les espèces végétales

Les résultats d'analyse des teneurs en plomb des feuilles lavées et non lavées ont mis en évidence, d'une part, l'existence de fortes concentrations en plomb et, d'autre part, une variation très importante de ces dernières en fonction des espèces. Ces concentrations dépassent largement les normes internationales admises qui sont évaluées à  $2 \mu\text{g}/\text{g}$  [17].

L'examen de la figure 2, p. 288, met en évidence deux types de comportements vis-à-vis de l'accumulation du plomb pour les espèces croissant dans la zone polluée : d'une part des concentrations élevées en plomb, de l'ordre de  $100 \mu\text{g}/\text{g}$  MS, pour les feuilles lavées de l'olivier et du palmier dattier, d'autre part des concentrations plus faibles ( $50 \mu\text{g}/\text{g}$  MS) pour les mêmes feuilles des espèces grenadier, amandier et vigne.

Cette rétention du plomb, beaucoup plus prononcée pour les feuilles de l'olivier et du palmier dattier semble due au temps d'exposition de ces feuilles



\* : points de prélèvement.

Figure 1.

Carte de localisation des sites de prélèvement des feuilles de végétaux au voisinage de la fonderie de plomb.

Sampling sites map of plant leaves in the vicinity of the lead factory.

Tableau 1.

Caractéristiques des usines polluantes dans la zone industrielle sud de la ville de Sfax [6, 21, 22].

Characteristics of pollutant factories in the south industrial area of Sfax.

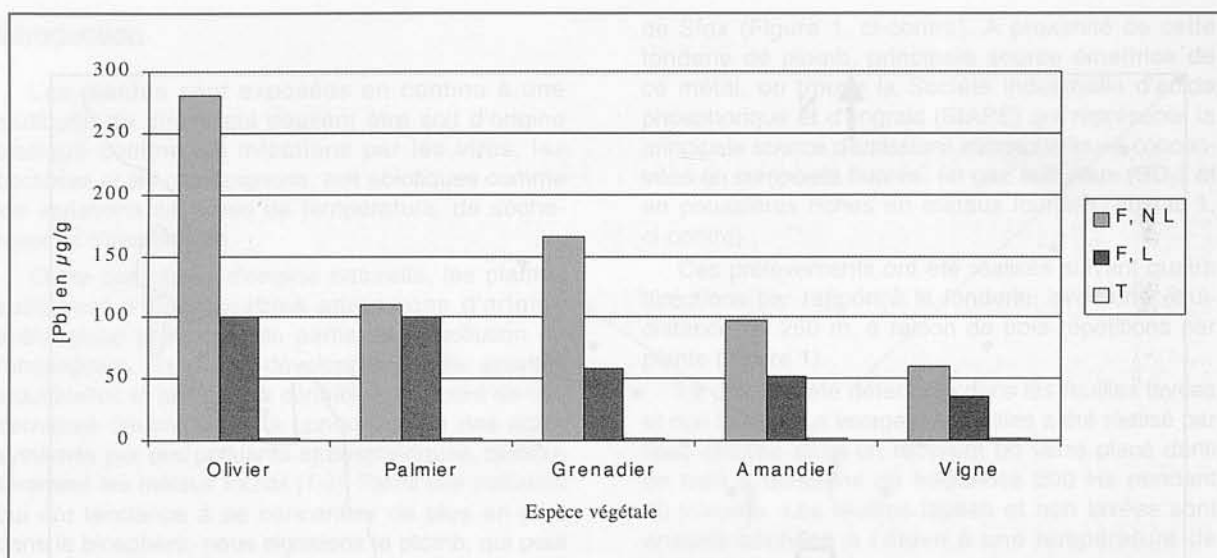
Installations	Émissions de poussières à la source (kg/h)	Facteurs d'émissions (g/t de matière première)				
		Ni (g/t)	Cd (g/t)	Pb (g/t)	Cu (g/t)	Zn (g/t)
Fonderie de plomb	74	2,3	5	68 000	6	25
SIAPE	160	3,1	2	0,3	3,2	9,4

persistantes, qui s'étale sur plusieurs années, ce qui favorise probablement la liaison ionique du métal à la cuticule ou son adsorption dans les cires épicuticulaires. Cette rétention est d'ailleurs diminuée lorsqu'il s'agit des feuilles d'arbres à feuilles caduques tels que l'amandier, le grenadier et la vigne dont le temps d'exposition est plus court.

Par ailleurs, la localisation du plomb à la surface des feuilles est sujette à controverse. Pour Brown [23], le plomb a une localisation intracellulaire, tandis que selon Goyal et Seaward [24], puis Tyler [25], il

s'agit plutôt d'une localisation extracellulaire. Suite à des observations en microscopie électronique à balayage, Garty et al. [26] sont en faveur d'une localisation extracellulaire.

Par ailleurs, on constate sur la même figure une variation importante de la concentration du plomb dans les feuilles non lavées. Nous pensons qu'en plus de l'âge des feuilles, de nombreux facteurs liés à la forme, à la rugosité de la surface foliaire et aux variations climatiques influent sur le taux d'accumulation des polluants.



F, NL : feuilles non lavées ; F, L : feuilles lavées ; T : témoins.

Figure 2.

Teneur en plomb des feuilles lavées et non lavées de quelques espèces cultivées.

Lead content of washed and non-washed leaves of some cultivated species.

### Teneur en plomb du sol

Pour déterminer la concentration en plomb du sol, nous avons prélevé aux alentours de la fonderie quatre échantillons de sol ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  et  $S_4$ ) à trois niveaux 0, 20, et 40 cm de profondeur.

La concentration moyenne du plomb de ces échantillons, illustrée par la figure 3, montre des valeurs supérieures à 15 ppm, limite proposée par Delcarte [27] pour les sols non contaminés. Les valeurs les plus importantes sont localisées à la surface du sol. En effet, la percolation du plomb dans le sol et sa disponibilité pour les plantes dépend essentiellement du pH du sol. Plus le sol est acide, plus les métaux sont solubles et biodisponibles [28]. En effet, la disponibilité des métaux dans le système sol-plantes dépend du pH du sol, de la concentration en matière organique et du stade de développement de la plante [28, 29]. Selon V. Kos et al., les métaux lourds entrent dans le cycle biologique des plantes à

travers les racines ou les feuilles et s'accumulent dans plusieurs organes [30]. Dans nos conditions d'étude, les échantillons du sol analysés à différents niveaux ont montré un pH alcalin (Tableau 2, ci-contre) favorable à la précipitation du métal et à sa stabilité.

Dans cet état de sol alcalin et en raison de la pauvreté des sols du sud tunisien en matière organique, l'influence du pH semble s'exercer particulièrement sur la charge des surfaces d'adsorption des argiles. Ainsi, la disponibilité du plomb du sol devient très limitée, ce qui réduit le transfert de plomb dans le tissu végétal à partir des racines.

### Influence de la direction du vent sur la rétention du plomb par les végétaux

Les facteurs climatiques pouvant interférer et influencer le taux d'accumulation de poussière sur les feuilles des plantes, la prise en considération des

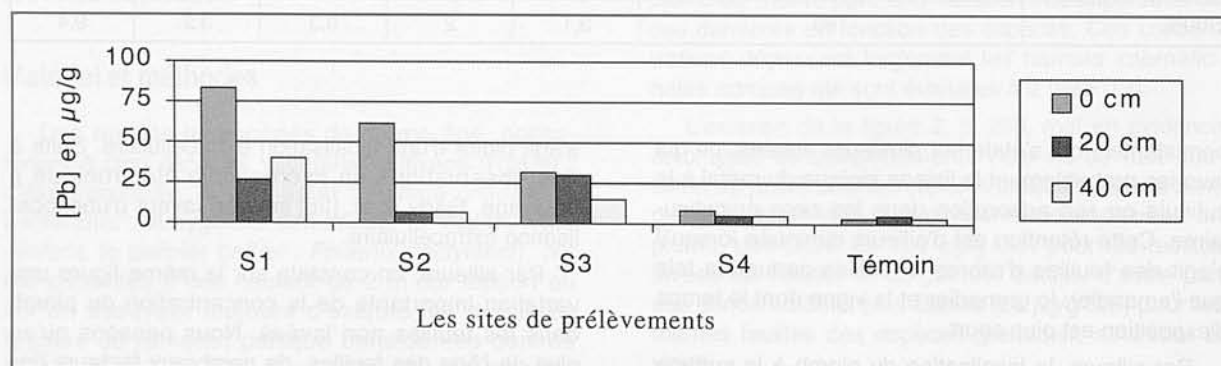


Figure 3.

Évolution des teneurs en plomb des différents niveaux du sol.

Evolution of lead contents at various soil levels.

Tableau 2.  
pH du sol à différentes profondeurs.  
Soil pH at different depths.

Site de prélèvement	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	Témoin
pH à la surface	8,12	7,84	8,18	8	8,12
pH à 20 cm de profondeur	7,85	7,85	8,25	7,85	8,16
pH à 40 cm de profondeur	8,28	7,86	8,2	7,76	8,16

conditions météorologiques et de leurs variations dans le temps et dans l'espace est déterminante. La pluie, l'humidité relative et particulièrement la vitesse et la direction du vent favorisent l'accumulation de la pollution dans une direction par rapport à une autre. L'analyse statistique des roses des vents dans la région de Sfax pendant une période de 20 ans (1971-1990) nous a permis de subdiviser les directions principales des vents en quatre classes (Tableaux 3 et 4).

Le tableau 3 montre que la direction dominante du vent au cours d'une année provient du secteur sud-est (25,5 %) alors que celle du vent sud-ouest

apparaît avec la fréquence la plus faible, de l'ordre de 16,25 %. Les autres directions du vent (nord-ouest et nord-est) ont des fréquences d'apparition intermédiaire. Afin de mettre en évidence l'influence de ce facteur climatique, des prélèvements de feuilles d'olivier ont été réalisés suivant les directions nord-ouest, sud-ouest, nord-est et sud-est. Les résultats analytiques ont montré une accumulation importante de plomb et de poussières par les individus implantés au nord-ouest de la fonderie dont l'influence est soumise à l'action du vent de direction sud-est (Figure 4, p. 290). Suivant cette direction, les teneurs en plomb peuvent atteindre 400 µg/g. Les individus

Tableau 3.  
Fréquence d'apparition des vents en fonction des saisons, dans la région de Sfax, durant une période de 20 ans (1971-1990).  
Winds appearance frequency according to seasons in the area of Sfax during a 20 years period (1971-1990).

Direction du vent	NE	SE	SO	NO	Vent calme
Printemps	33 %	34 %	7 %	13 %	13 %
Été	22 %	44 %	6 %	10 %	18 %
Automne	13 %	11 %	26 %	31 %	19 %
Hiver	14 %	13 %	26 %	35 %	12 %
% d'apparition au cours de l'année	20,5 %	25,5 %	16,25 %	22,25 %	15,5 %

Tableau 4.  
Vitesse et direction des vents en fonction des saisons dans la région de Sfax.  
Winds speed and direction in function of seasons in the region of Sfax.

Direction du vent	Vitesse du vent	% d'apparition			
		Automne	Hiver	Printemps	Été
NE	> 2 m/s	100	100	100	100
	> 5 m/s	7	7	20	12
	> 9 m/s	2	2	2	2
SE	> 2 m/s	100	100	100	100
	> 5 m/s	5	7	20	22
	> 9 m/s	1	2	4	3
SO	> 2 m/s	100	100	100	100
	> 5 m/s	14	16	4	1
	> 9 m/s	4	4	2	0
NO	> 2 m/s	100	100	100	100
	> 5 m/s	15	16	6	3
	> 9 m/s	4	4	2	1

implantés au sud-ouest présentent toutefois des concentrations moyennes voisines de 100  $\mu\text{g/g}$ . Les feuilles prélevées au nord-est et au sud-est ont cependant montré des concentrations relativement faibles, de l'ordre de quelques  $\mu\text{g/g}$ . Les variations d'accumulation du plomb au cours de l'année en fonction de la direction et de la force des vents (Figure 4) semblent indiquer que l'accumulation du plomb dans les feuilles est en équilibre dynamique entre l'air et les feuilles. En outre, ces résultats semblent également confirmer que cette répartition est en étroite relation avec la particularité du climat de la région d'étude, caractérisé par des vents faibles à moyens. La fréquence d'apparition des vents forts ( $> 9 \text{ m/s}$ ) ne dépasse guère 4 % (Tableau 4, p. 289). Ainsi, les vents faibles caractérisant la région d'étude favorisent un dépôt de poussières important sur les feuilles des espèces situées à proximité de l'usine. En revanche, les vents forts favorisent la dispersion des émissions et entraînent un faible dépôt de poussières sur les feuilles des espèces situées à des distances éloignées de la source. D'un autre côté, cette région est soumise à des vents continentaux qui sont essentiellement secs et à des vents maritimes très humides. Les statistiques météorologiques ont montré que la région est largement soumise aux influences du sirocco, vent saharien chaud et très sec [31]. Se trouvant dans une région

côtière, les vents sud-est d'origine marine favorisent le dépôt rapide des poussières et leur accumulation sur les surfaces foliaires. Ainsi, les oliviers implantés au nord-ouest et soumis à l'effet des vents marins humides, de direction sud-est, montrent des moyennes de concentrations en plomb de l'ordre de 300  $\mu\text{g/g}$  alors que ceux implantés au sud-ouest de la fonderie présentent des moyennes de concentrations voisines de 100  $\mu\text{g/g}$ . Ces dernières plantes sont en fait soumises à des vents du nord-est d'origine mixte (marine et continentale) avec une fréquence d'apparition moyenne.

Ainsi, dans notre site d'étude, la variabilité des concentrations de plomb au niveau des feuilles semble due essentiellement aux conditions météorologiques particulières de la région, caractérisées par l'influence des deux vents opposés continentaux et maritimes, ainsi que de la vitesse et la fréquence de leur apparition. L'influence des vents forts et moyens semble toutefois limitée puisque la région se caractérise essentiellement par des vents faibles dont la vitesse varie de 1,5 à 4 m/s.

#### Évolution de la contamination en fonction de la distance par rapport à la source

La figure 5, ci-contre, illustre clairement une variation très importante de la concentration du

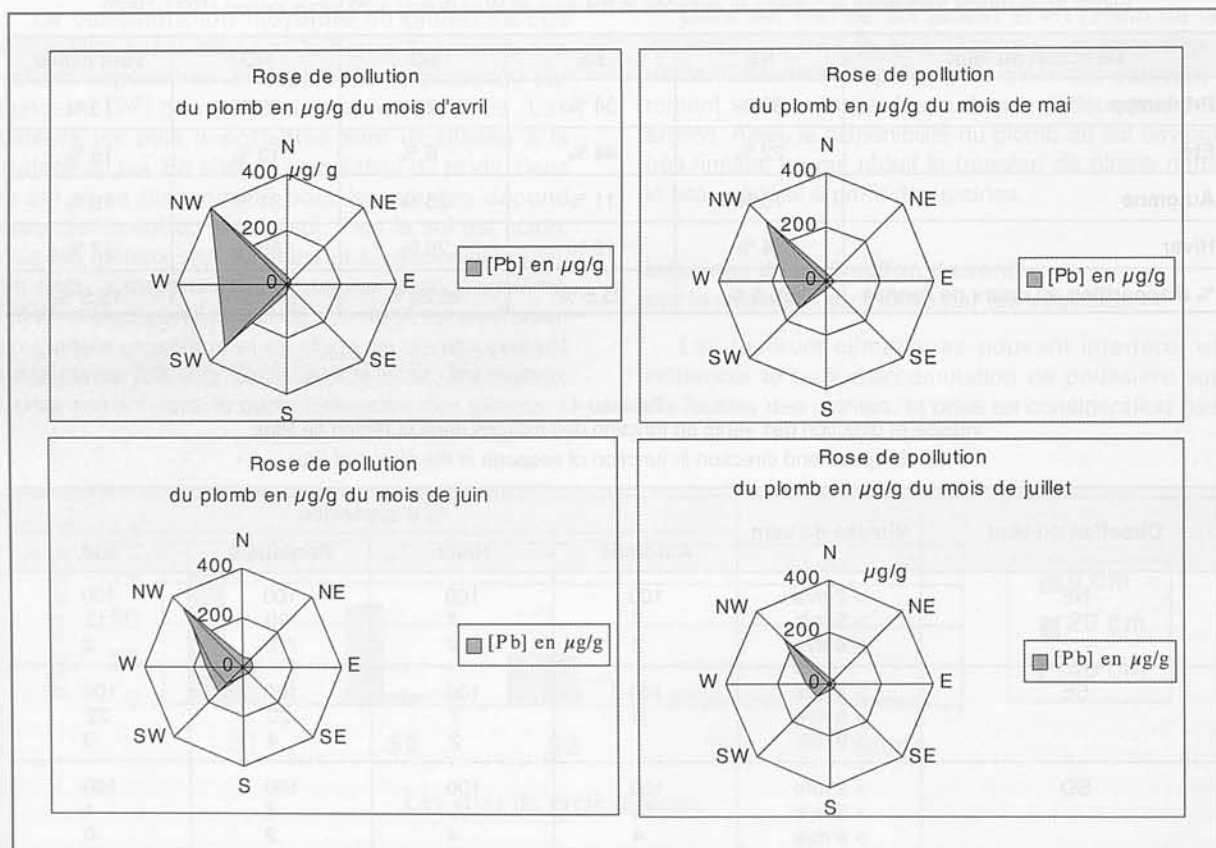


Figure 4.

Influence de la direction d'implantation sur l'accumulation du plomb par les feuilles d'olivier non lavées.  
Influence of plantation direction on lead accumulation by non-washed leaves of olive trees.

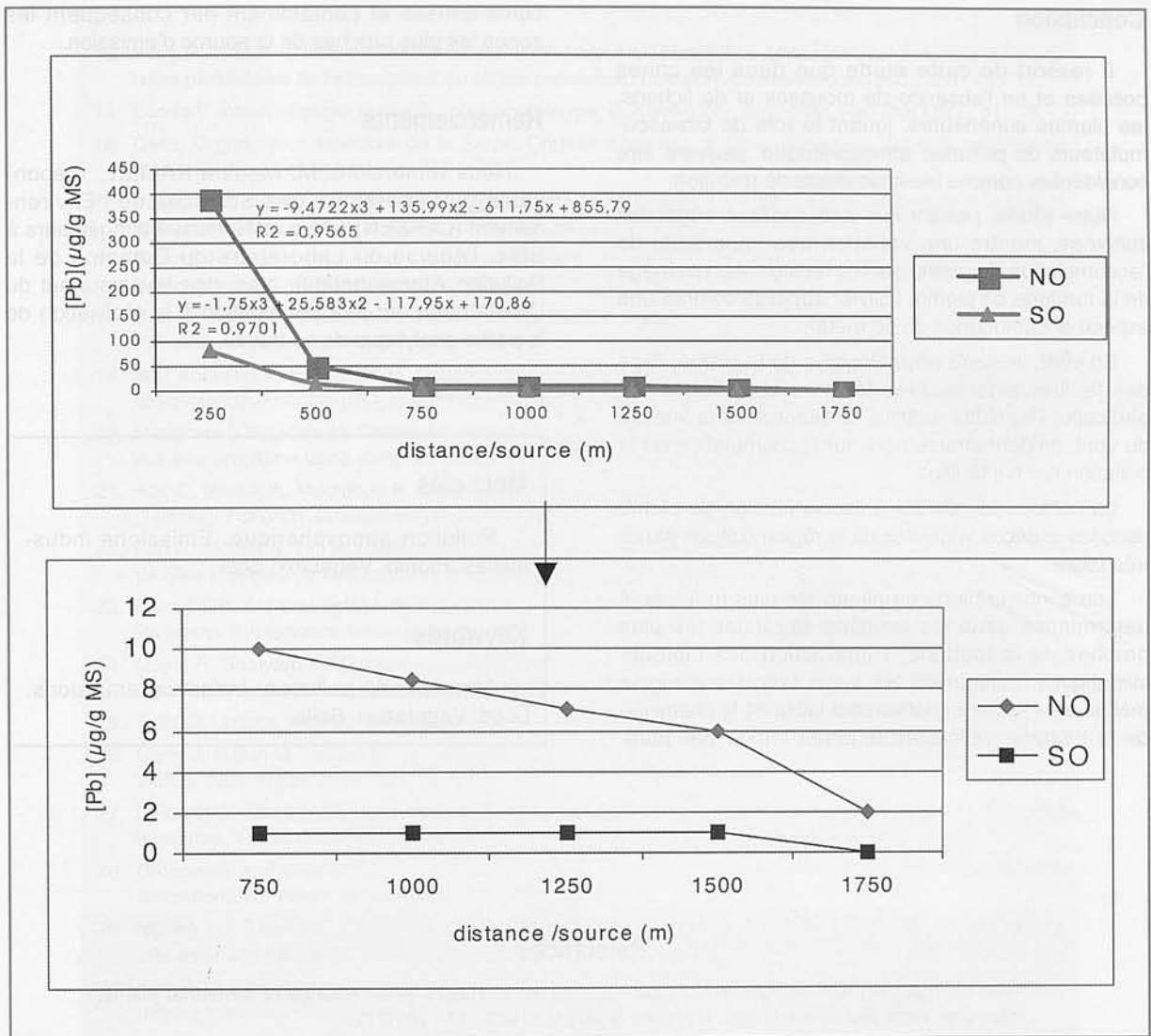


Figure 5.  
Influence de la distance sur l'accumulation du plomb par les feuilles d'olivier non lavées.  
Distance effect on lead accumulation by olive tree non-washed leaves.

plomb dans les feuilles des oliviers en fonction de la distance. Les concentrations les plus élevées, mesurées dans les feuilles des oliviers non lavées, ont été enregistrées à des distances très proches de l'usine. Selon la direction nord-ouest, la concentration dépasse largement 300 µg/g. À partir d'une distance de 500 m, on enregistre une baisse considérable des concentrations en plomb, avec des concentrations devenant inférieures ou égales à 50 ppm. L'étendue de la zone soumise aux dépôts du plomb varie principalement selon certains facteurs comme la hauteur de la cheminée, la taille des particules, l'humidité relative, la vitesse et le régime des vents dominants et la topographie du site étudié. Cependant, la fréquence importante des vents faibles ou modérés (Tableau 4, p. 289) et la faible hauteur de la cheminée (25 m) semblent agir fortement sur la distribution spatiale des retombées de poussières et de polluants. L'accumulation des

polluants par une espèce végétale telle que l'olivier est d'autant plus importante que celle-ci est située à proximité de l'usine (Figure 5). Mezghani et al. [20] ont d'ailleurs montré que les retombées des émissions atmosphériques des installations de la Société industrielle d'acide phosphorique et d'engrais ayant des cheminées à hauteur supérieure à 50 m, sont localisées à des distances comprises entre 4 et 6 km par rapport à la source.

L'interaction de tous ces facteurs a favorisé l'accumulation des polluants à des distances proches de la source. La concentration du plomb diminue, selon une courbe d'équation :

$y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ . À partir de 750 m de la source, la concentration du plomb dans les feuilles non lavées d'olivier diminue progressivement pour atteindre des valeurs proches du témoin et ceci à partir d'une distance voisine de 2 km par rapport à la source (Figure 5).

## Conclusion

Il ressort de cette étude que dans les zones polluées et en l'absence de mousses et de lichens, les plantes supérieures, jouant le rôle de bio-accumulateurs de pollution atmosphérique, peuvent être considérées comme bio-indicateurs de pollution.

Notre étude, portant sur cinq espèces végétales cultivées, montre une variation très importante de l'accumulation du plomb sur les feuilles. Au voisinage de la fonderie de plomb, l'olivier apparaît comme une espèce accumulatrice de ce métal.

En effet, le stade physiologique de la plante, l'âge des feuilles ainsi que les facteurs climatiques, en particulier l'humidité relative, la direction et la vitesse du vent, influent directement sur l'accumulation de la pollution par les feuilles.

La contribution du sol à l'accumulation du plomb dans les espèces végétales de la région d'étude paraît très faible.

Les concentrations en plomb les plus fortes sont déterminées dans les espèces végétales les plus proches de la fonderie. L'interaction des facteurs climatiques, notamment les vents humides d'origine marine et la hauteur relativement faible de la cheminée de la fonderie, favorisent le dépôt rapide des parti-

cules émises et contaminent par conséquent les zones les plus proches de la source d'émission.

## Remerciements

Nous remercions M. Monem KALLEL, responsable du Laboratoire des Sciences de l'Environnement (LARSEN) à l'École Nationale d'Ingénieurs à Sfax, l'équipe du Laboratoire du Domaine de la Pollution Atmosphérique ainsi que le personnel du Laboratoire pour leur contribution à la réalisation de la partie analytique de ce travail.

## Mots clés

Pollution atmosphérique. Émissions industrielles. Plomb. Végétaux. Sols.

## Keywords

Atmospheric pollution. Industrial emissions. Lead. Vegetation. Soils.

## Références

1. Tyler G, Balsberg AM, Bengtsson G, Baath E, Tranvic L. Heavy metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates. *Water Air Soil Pollut* 1989 ; 47 : 189-215.
2. Reddy GN, Prasad MNV. Heavy metal-binding proteins/peptides : occurrence, structure, synthesis and function. *A Rev Envir Exp Bot* 1990 ; 30 : 251-64.
3. Pauly T, Lohou C. La pollution atmosphérique et les végétaux, particulièrement les arbres des villes. *TSM-L'EAU*, mai 1992 : 267-70.
4. Thomas P, Voisin C. Huit années de mesures des métaux lourds dans l'atmosphère de l'agglomération lilloise. *Pollution Atmosphérique*, juillet-septembre 1993 : 89-97.
5. Mercier G, Duchesne J, Carles-Gibergues A. A new *in vitro* test to simulate gastric absorption of copper, lead, tin and zinc from polluted soils. *Environmental Technology* 2002 ; 23 : 121-33.
6. Sleiman H. Pollution atmosphérique : plombémie et trafic routier à Beyrouth. *Pollution Atmosphérique*, avril-juin 2000 : 283-97.
7. Azri C, Serbaji MM, Medhioub K. Pollution de l'air par les rejets d'une fonderie de plomb. *TSM* 1999 ; 2 : 22-6.
8. Dumont D, Letienne F. Intoxication par le plomb : physiopathologie, épidémiologie, traitement. *Rev Prat* 1994 ; 44 : 557-63.
9. Steinnes E, Allen RO, Petersen M, Rambeak JP. Evidence of large scale heavy metal contamination of natural surface soils in Norway, from long-range atmospheric transport. *Sci Total Environ* 1997 ; 205 : 255-66.
10. Piron-Frenet M, Bureau F, Pineau A. Accumulation de plomb dans le sol à proximité d'une route de campagne. Relation avec la circulation automobile. *Pollution Atmosphérique* 1992 ; 134 : 101-7.
11. Boutron C, Candelone JP, Hong S. Le plomb dans les neiges et glaces du Groenland. *Pollution Atmosphérique*, juillet-septembre 1993 : 128-31.
12. Monna F, Lancelot J, Groudace IW, Cundy W, Andrew B, Lewis JT. Pb isotopic composition of airborne particulate material from France and the Southern United Kingdom : Implication for Pb pollution sources in urban areas. *Environmental Science Technology* 1997 ; 31 (8) : 2277-86.

13. Alary R, Donati J. Influence de la baisse de la teneur en plomb des carburants sur la teneur en particules plombifères de l'atmosphère en région parisienne. *Pollution Atmosphérique* 1990 ; 128 : 449-52.
14. Conso F. Intoxication par le plomb : physiopathologie, épidémiologie, diagnostic. *Rev Prat* 1991 ; 41 : 16.
15. OMS, Organisation Mondiale de la Santé. Critères d'hygiène de l'environnement. Aspects analytiques du plomb dans l'environnement 1984 : 61.
16. Baker AJM, Brooks RR. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1989 ; 1 : 81-126.
17. Brooks RR. Geobotany and hyperaccumulators. In : RR Brooks (ed). Plants that hyperaccumulate Heavy Metals. CAB International, Wallingford, UK 1998 : 55-94.
18. Ben Abdallah F, Boukhris M. Action des polluants atmosphériques sur la région de Sfax (Tunisie). *Pollution Atmosphérique* 1990 ; 127 : 292-7.
19. Ben Abdallah F, Belgacem H, Boukhris M. Réponses des végétaux d'une région aride à une pollution atmosphérique double (SO<sub>2</sub> et composés fluorés). *Pollution Atmosphérique* 1994 ; 143 : 117-22.
20. Mezghani I, Boukhris M, Chaieb M. Accumulation du cadmium par quelques espèces végétales cultivées aux environs d'une usine d'engrais phosphatés à Sfax (Tunisie). *Pollution Atmosphérique* 1999 ; 163 : 80-8.
21. Azri C, Maalej A, Medhioub K. Étude de la variabilité des constituants de l'aérosol dans la ville de Sfax (Tunisie). *Pollution Atmosphérique* 2000 ; 165 : 121-9.
22. Azri C, Maalej A, Tlili A, Medhioub K. Caractérisation du niveau de pollution atmosphérique dans la ville de Sfax (Tunisie) : influences des sources et des facteurs météorologiques. *TSM* 2002 ; 1 : 78-92.
23. Brown DH. Mineral uptake by Lichens. In : Brown DH, Bailey RH (eds). Lichenology : Progress and Problems. Systematics Association, Special Volume n° 8. Acad Press, London, New York 1976 : 419-39.
24. Goyal R, Seaward MRD. Lichen ecology of the Scunthorpe heathland. II- Industrial metal fallout pattern from lichen and soils assays. *Lichenologist* 1981 13 (3) : 289-300.
25. Tyler G. Uptake, retention and toxicity of heavy metals in lichens. *Water Air Soil Pollut* 1989 ; 47 : 321-33.
26. Garty J, Galun M, Kessel M. Localization of heavy metals and other elements accumulated in the lichen thallus. *New Phytol* 1979 ; 82 : 159- 68.
27. Delcarte E. Contribution à la caractérisation analytique de contaminants métalliques des écosystèmes terrestres. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux 1988 : 248 p.
28. Chlopecka A. Forms of Cd, Cu, Pb, and Zn in soil and their uptake by cereal crops when applied jointly as carbonates. *Water Air Soil Pollut* 1996 ; 87 : 297-309.
29. Myung CJ, Thornton I. Environmental contamination and seasonal variation of metals in soils, plants and waters in the paddy fields around a Pb-Zn mine in Korea. *Sci Total Environ* 1997 ; 198 : 105-21.
30. Kos V, Budidie B, Hudnic V, Lobnik F. Determination of heavy metal concentrations in plants exposed to different degrees of pollution using ICP-AES. *Fresenius J Anal Chem* 1996 ; 354 : 648-52.
31. Bousnina A. Le climat de Sfax. Rapport n° 1, 1990 : 61 p.

