

# **Mobilite Du Plomb Et Du Zinc Issus De Retombees Atmospheriques Dans Le Sol : Cas De La Zone Industrielle De Tiaret, Algerie**

***Benahmed Mohamed  
Dellal Abdelkader***

Laboratoire d'Agro-biotechnologie et de Nutrition en Zones Semi-arides  
Faculté des Sciences de la Nature et de La vie,  
Université Ibn Khaldoun, Tiaret - Algérie

***Hellal Benchaben***

Laboratoire de Géomatique et Développement Durable  
Université Ibn Khaldoun, Tiaret – Algérie

doi: 10.19044/esj.2016.v12n18p131 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p131](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p131)

---

## **Abstract**

Study of heavy metals mobility in soil is a necessary step for making an accurate appraisal and quantitative evaluation of the extent of contamination, indeed, wet and dry atmospheric deposits, plays an important role in the cycle of semi-volatile contaminants (Vinogradova, 2000). Metallurgical industries release heavy metals into the atmosphere, these last, clump together to form fines particles suspended in the air, these metals can be transported by wind via aerosol or aqueous pathway and deposited in the soil. The main aim of this work was to study the mobility and fate of lead and zinc from atmospheric deposits in a contaminated soil from the foundry (ALFET) in the industrial zone of Tiaret (Western Algeria) and to determine the effect of physicochemical parameters of the soil on their mobility in the topsoil. The physicochemical analysis of soil samples have shown that zinc and lead levels contents in the surface layer soil (0-30cm) vary depending on the pH, total limestone (CaCO<sub>3</sub>). The obtained results clearly show the major effect of soil texture, the fine fraction (clay and sand).

---

**Keywords:** Soil, atmospheric deposition, Pb, Zn, mobility

---

## **Résumé**

L'étude de la mobilité des métaux lourds dans le sol constitue une étape indispensable à l'évaluation de l'importance de la contamination, En effet, les dépôts atmosphériques, qu'ils soient secs ou humides, jouent un rôle important dans le cycle des contaminants semi-volatils (Vinogradova, 2000).

Les industries métallurgiques rejettent des métaux lourds dans l'atmosphère, ces derniers s'agglutinent notamment aux fines particules de poussière en suspension dans l'air, ces métaux peuvent être transportés par voie éolienne via des aérosols ou par voie aqueuse via l'eau et se déposent dans les sols. L'objectif principal de ce travail était d'étudier la mobilité du plomb et le zinc dans le sol issus de retombées atmosphériques de la fonderie (ALFET) dans la zone industrielle de Tiaret (Ouest d'Algérie) et d'identifier l'effet des paramètres physico-chimiques du sol sur leurs mobilités dans la couche superficielle du sol. Les analyses physico-chimiques des échantillons de sol ont montré que les teneurs en Zn et Pb dans la couche superficielle (0-30 cm) des sols varient en fonction du pH, le calcaire total et la teneur en eau du sol. Les résultats obtenus montrent clairement l'effet majeur de la texture du sol, la fraction fine (argile et sable fin) influence de façon très hautement significative la mobilité du Pb et Zn dans le sol.

---

**Mots clés:** Sol, retombées atmosphériques, Pb, Zn, mobilité

### **Introduction**

Le problème posé par la pollution due aux métaux lourds est lié à la spécificité de la contamination et aux caractéristiques physico-chimiques du sol. Les principales sources industrielles d'émissions atmosphériques de polluants métalliques sont les usines d'incinération, les hauts fourneaux, la combustion du charbon et du pétrole. Leur accumulation peut avoir des impacts néfastes sur l'environnement, avec un risque de contamination des sols, des eaux de surface ou des eaux souterraines. Une fois dans le sol, les métaux lourds peuvent être redistribués dans le sol, en surface par l'érosion et le ruissellement, ou en profondeur, en migrant avec la solution du sol. Leur devenir dans l'environnement est très variable selon l'élément considéré et les conditions physico-chimiques du sol. L'objectif de ce travail est d'étudier la mobilité des métaux lourds (Pb et Zn) issus de retombées atmosphériques de la fonderie (ALFET) sous des conditions climatiques semi-arides dans une zone industrielle dans la région de Tiaret (Ouest d'Algérie).

### **Matériel et méthodes**

#### **La zone d'étude**

L'Algérienne des fonderies de Tiaret (ALFET) se situe au Sud-Ouest de la ville de Tiaret. Son activité consiste à fabriquer des pièces moulées en fonte et en acier, étude et conception des outillages, fabrication de pièces moulées de différents alliages sur demandes, production et commercialisation de produits de fonderies, et destinées aux besoins de l'industrie de transformation. L'entreprise n'est pas équipée d'une station

d'épuration. Elle se sert de deux stations pour adoucir et neutraliser l'eau. Le climat de la région de Tiaret est de type semi-aride, froid et humide en hiver, chaud et sec en été. La hauteur moyenne annuelle de précipitations est d'environ 350 mm se produisant essentiellement en hivers et au printemps. Le régime pluviométrique est irrégulier, ne dépassant pas souvent 450 mm d'eau par an en zones nord et inférieurs à 300 mm/an en zones sud de Tiaret. La moyenne thermique maximale (26 °C) est enregistrée au mois d'août et la moyenne minimale (6 °C), au mois de janvier. Les vents dans l'ensemble de la région de Tiaret, sont extrêmement violents surtout ceux venant de Nord-Ouest durant la saison hivernale. En été c'est le sirocco Sud-Ouest qui est à craindre (augmentation brusque de la température).

## **Echantillonnage**

### **Choix des sites de prélèvement**

Les sites de prélèvement ont été choisis de telle sorte qu'ils se trouvent sous l'influence des retombées atmosphériques de la fonderie et également sous les vents dominants dans la région. Tenant compte de ces critères, deux parcelles ont été matérialisées pour le prélèvement des échantillons de sol. Les deux parcelles se situant à une distance équivalente de la fonderie et dans la direction des vents dominants, nous avons émis l'hypothèse qu'elles avaient reçu une quantité de pollution. Il est donc difficile de caractériser sur de grandes surfaces la variabilité des teneurs sur une zone contaminée par les retombées atmosphériques bien que les études montrent que la distribution de la pollution du sol autour des usines dépend de la distance et de la direction des vents dominants (Meshalkina et al, 1996).

### **Prélèvement**

Pour étudier les propriétés physico-chimiques des sols ainsi que la mobilité et la distribution du Pb et Zn, des échantillons de sol de la couche superficielle ont été prélevés. Les points d'échantillonnages, localisés dans deux parcelles situés à l'intérieure de la fonderie avec un maillage de 6 mètres afin de limiter l'hétérogénéité horizontale du milieu, soit 33 échantillons de sols qui ont pu être prélevés durant chaque campagne (2012), (2013) et (2014). Dans chaque point d'échantillonnage, un prélèvement de sol sur une profondeur de 0-30 cm a été réalisé. Le choix d'une épaisseur constante de prélèvement de la couche 0-30 cm, permet la comparaison de stocks de polluants. Les sols prélevés ont été séchés à l'air libre puis broyé et tamisé à 2 mm de diamètre, et conservé dans des sacs en plastique bien fermé dans un endroit sec et propre.

### **Analyses physico-chimiques du sol**

Toutes les analyses de base ont été réalisées sur ces échantillons; la mesure de l'humidité déterminée par la différence des pesées du sol séché à l'air ambiant et chauffé à 105 °C. Le pHeau sur une solution sol/eau avec un rapport 1/2.5. La conductivité électrique (CE) avec un rapport 1/5. La capacité d'échange cationique (CEC) déterminée par la méthode à l'acétate de sodium. Le calcaire total par la méthode du Calcimètre de Bernard après attaque HCl 6N. La granulométrie par la méthode internationale de la pipette de Robinson après destruction de la matière organique à l'eau oxygénée, du calcaire total à l'hexametphosphate de sodium. Le dosage du carbone organique est réalisé par la méthode Walkley et Black qui nécessite une oxydation avec le bichromate de potassium. L'azote total par la méthode Kjeldahl.

### **Dosage du Pb et Zn dans le sol**

L'analyse des éléments traces métalliques (Pb et Zn) a été réalisée par la méthode d'attaque triacide (HCl-HNO<sub>3</sub>-HF). A partir de chaque échantillon de sol sec, ainsi préparé, 150 mg ont été minéralisés à 120 °C pendant 4h en présence de 4 ml d'acide fluorhydrique (HF) et 2 ml d'un mélange d'acide chlorhydrique (HCl) et d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>). Les analyses des métaux lourds ont été effectuées par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

### **Analyse statistique**

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du Logiciel SPSS23. Les données ont été analysées à l'aide de l'analyse de la variance et la comparaison des moyennes a été faite par le test de Pearson. Le test a été appliqué à un niveau de probabilité de  $p = 0,05$  à trouver des différences significatives entre les moyennes. Ces analyses ont été réalisées dans le but de comparer les caractéristiques moyennes des sols étudiés. Cette comparaison a été faite sans distinction entre les trois compagnes.

## **Résultats et discussion**

### **Mobilité du Pb et Zn dans le sol**

Les résultats des analyses statistiques descriptives des principaux paramètres physico-chimiques du sol étudiés sont présentés dans le Tableau 1. Le sol étudié présente une teneur en argile  $13,48 \pm 5,24$  % et un taux de sable fin  $22,44 \pm 10,11$  %. Dans plusieurs sols contaminés par du Pb, Zn, Fe et Cu, la fraction la plus fine contient souvent les plus fortes concentrations de ces métaux (Peters, 1999). Le pH des échantillons varie de 6,94 à 9,39 avec une moyenne de 8,10, les valeurs observées révèlent que le potentiel d'hydrogène est légèrement neutre à alcalin, tandis que la teneur en calcaire

total est de  $9,73 \pm 8,89$  % par combinaison du calcaire total et actif, ce qui signifie que le sol est modérément calcaire, les métaux lourds peuvent se lier aux carbonates dans les sols. En effet, les carbonates avec leurs sites d'adsorption peuvent retenir les métaux lourds (Makram, 2010). Les résultats obtenus montrent que la moyenne des teneurs en Pb dans le sol est de  $3,42 \pm 2,47$  ppm, et  $7,45 \pm 25,21$  ppm pour le Zn.

**Tableau 1.** Analyse descriptive des principaux paramètres physico-chimiques du sol.

	Effectif total (N)	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
<b>Pb (ppm)</b>	99	0,00	13,70	3,42	2,47
<b>Zn (ppm)</b>	99	0,00	21,96	7,45	5,02
<b>pH</b>	99	6,94	9,39	8,10	0,52
<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	99	0,00	40,00	9,73	8,89
<b>Argile (%)</b>	99	7,02	33,65	13,48	5,24
<b>Sable fin (%)</b>	99	2,10	39,39	22,44	10,11

Les corrélations qui résument les relations entre les principaux paramètres physico-chimiques du sol qui influencent la mobilité du Pb et Zn dans le sol sont présentées dans le Tableau 2.

**Tableau 2.** Résultats du test de corrélation de Pearson entre la teneur en Pb et le pH, la CEC, le calcaire total, et le Zn.

		Pb (ppm)	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)
<b>Pb (ppm)</b>	Corrélation de Pearson	1	<b>0,365**</b>	<b>0,352**</b>
	Sig. (bilatérale)		0,000	0,000
	N	99	99	99
<b>Zn (ppm)</b>	Corrélation de Pearson	<b>0,275**</b>	-0,082	0,097
	Sig. (bilatérale)	0,006	0,421	0,341
	N	99	99	99

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

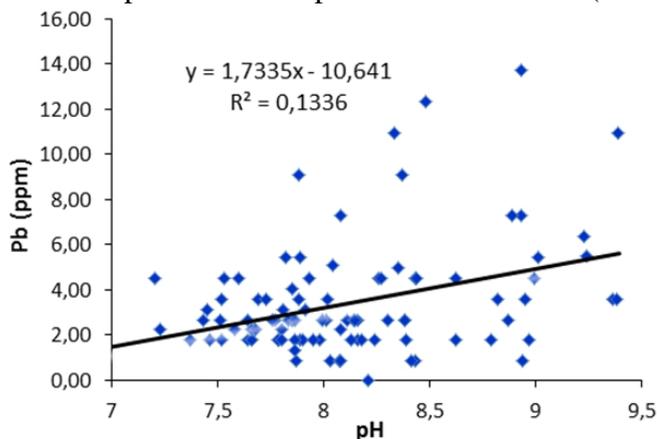
\* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Selon les résultats illustrés dans le Tableau 2, le Pb dans le sol est influencé par quelques paramètres tels que le pH, la CEC, le calcaire total (CaCO<sub>3</sub>) et le Zn. Ces résultats est justifiés par les corrélations qui existent entre la teneur en Pb dans le sol et le pH ( $r = 0,365^{**}$ ,  $p = 0,000$ ), le calcaire total (CaCO<sub>3</sub>) ( $r = 0,352^{**}$ ,  $p = 0,000$ ) et le Zn ( $r = 0,275^{**}$ ,  $p = 0,006$ ). Le Pb est négativement corrélé avec la CEC ( $r = -0,218^*$ ,  $p = 0,030$ ).

### Influence du pH

Les valeurs observées révèlent que le potentiel d'hydrogène est légèrement neutre à alcalin 6,94 à 9,39 (Tableau 1). Le pH du sol influence la solubilité des métaux en modifiant l'équilibre de sa répartition entre la phase liquide et la phase solide, il influence le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution. L'adsorption des métaux lourds dépend du

pH du milieu. En effet, il agit aussi bien sur la charge de surface du matériau adsorbant que sur la répartition et la spéciation des cations (Sbaa et al, 2000).



**Figure 1.** Corrélation entre la teneur en Pb et le pH du sol.

A l'examen de la Figure 1, il paraît évident qu'il existe une corrélation linéaire hautement significative entre le plomb et le pH. ( $r = 0,365^{**}$ ). Cette influence du pH est également illustrée dans les travaux de Wu et al., (2002) qui mettent en évidence qu'un pH élevé favorise la dissolution des acides humiques et augmente la concentration dissoute de métal en raison de formation de complexes métal-organique en solution. L'adsorption de l'ion  $Pb^{2+}$  semble être fortement affectée par le pH de la solution initiale, le taux d'adsorption du plomb diminue en augmentant le pH. Ceci peut être expliqué par la formation des hydroxydes de plomb.

L'augmentation du pH contribue également à la diminution du potentiel de surface, en diminuant également la concurrence des protons par rapport aux ions métalliques et elle favorise ainsi leur fixation. La précipitation se produit également à pH élevé. Plus le pH est faible plus le plomb passe en solution. Il a été montré que l'adsorption du Pb dans le sol augmente quand le pH augmente et que des hydroxydes métalliques peuvent se former, tel que  $Pb(OH)_2$ . Un pH acide entraîne la mise en solution des sels métalliques, la mise en solution des phases de rétention, la désorption des cations et l'adsorption des anions (Lions, 2004).

### **Influence du calcaire ( $CaCO_3$ )**

Les taux de calcaire total enregistré dans les sols est de  $9,73 \pm 8,89$  % (Tableau 1), ce sont des sols modérément calcaires. Les carbonates jouent un rôle important dans les sols, une teneur élevée en carbonates rend le milieu alcalin favorable à la fixation des cations. La surface des carbonates favorise les phénomènes de rétention des ions métalliques tels que la précipitation (smithsonite ( $ZnCO_3$ ), cérusite ( $PbCO_3$ )).

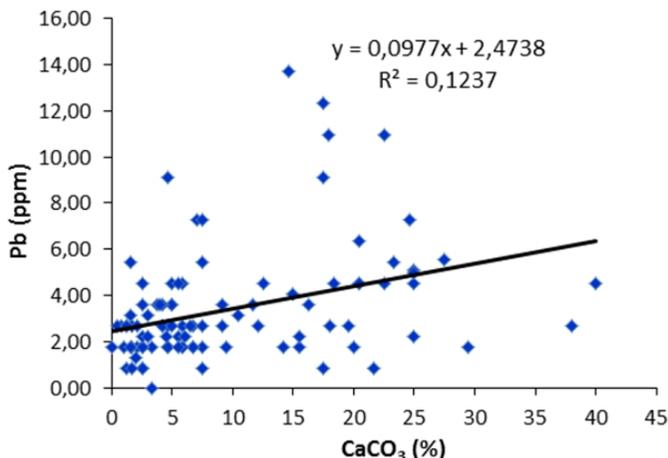


Figure 2. Corrélation entre la teneur en Pb et le calcaire total

L’analyse de régression linéaire effectuée entre le taux du CaCO<sub>3</sub> et le plomb (Figure 2) a montré que, le plomb est principalement lié aux taux de carbonates dans le sol, ces résultats est justifiée par une corrélation hautement significative ( $r = 0,352^{**}$ ).

L’équilibre de dissolution des carbonates et de dioxyde de carbone dans le sol contrôlent partiellement le pH. De plus, une teneur élevée en carbonate rend le sol alcalin et favorisant ainsi l’ensemble des modes de fixation des métaux. Les carbonates peuvent incorporer des cations métalliques dans leur maille cristalline (Bourg, 1988).

Dans les sols calcaires, le plomb et le zinc sont fixés par les carbonates du calcium soit par adsorption, par précipitation d’hydroxydes ou de carbonates, ou encore par insertion dans le réseau de CaCO<sub>3</sub>.

### Influence de la texture du sol

Les résultats du test de corrélation entre la teneur en Pb et Zn et les fractions granulométriques du sol (argile et sable fin) sont représentés dans le Tableau 3.

**Tableau 3.** Résultats du test de corrélation de Pearson entre le Pb, le Zn et les fractions granulométriques du sol.

		Argile (%)	Sable Fin (%)
<b>Pb (ppm)</b>	Corrélation de Pearson	<b>-0,328**</b>	<b>-0,406**</b>
	Sig. (bilatérale)	0,001	0,000
	N	99	99
<b>Zn (ppm)</b>	Corrélation de Pearson	0,055	<b>-0,314**</b>
	Sig. (bilatérale)	0,589	0,002
	N	99	99

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

\* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

D'après les résultats du Tableau 3, on remarque qu'il y a une corrélation négative hautement significative entre la teneur en Pb dans le sol et le taux d'argile ( $r = -0,328^{**}$ ,  $p = 0,001$ ) et le sable fin ( $r = -0,406^{**}$ ,  $p = 0,000$ ).

Une corrélation négativement hautement significative existe entre la teneur en Zn dans le sol et la fraction granulométrique sableuse ( $r = -0,314^{**}$ ,  $p = 0,002$ ). Les argiles présentent une grande surface spécifique et des charges négatives sur leurs feuillettes, ce qui leur permet de retenir des cations par adsorption. La capacité adsorbante d'une argile varie d'une famille à l'autre. Les phyllosilicates ayant une capacité d'échange cationique (CEC) élevée et d'importantes surfaces spécifiques, ils contribuent à adsorber de fortes quantités de métaux lourds (Kabata-Pendias, 2001), ce qui justifie les résultats obtenus (Tableau 2) par la corrélation négative significative qui existe entre la CEC et la teneur en plomb dans le sol ( $r = -0,218^*$ ,  $p = 0,030$ ). Les argiles peuvent donc retenir une importante quantité de métaux lourds par adsorption. Les minéraux argileux possèdent de grandes surfaces spécifiques et de grandes capacités d'échange cationique. D'après (Deschamps et al, 2006), le comportement des métaux lourds dans le sable dépend fortement de la nature et de la proportion des différents composants de ce sol, les argiles peuvent retenir une importante quantité de métaux lourds par adsorption.

La fraction granulométrique sableuse influe d'une manière négative très significative sur la mobilité du Zn dans le sol ( $r = -0,314^{**}$ ;  $p = 0,002$ ) (Tableau 3). Dans les sols de texture sableuse, ou à travers les chemins d'écoulement préférentiel, le transfert des micropolluants en profondeur est favorisé car les réactions avec les constituants n'ont pas le temps de s'établir ou du fait de la libération et du transport sous forme colloïdale des micropolluants dans la solution du sol.

## Conclusion

Les métaux lourds se sont présents dans le sol sous des formes chimiques très variées dépendant de la composition du sol et des conditions du milieu. Le plomb dans le sol est principalement contrôlé par sa spéciation en phase aqueuse et par certains paramètres physico-chimiques du sol tel que le pH et le calcaire total qui montrent des corrélations significatives ( $r = 0,365^{**}$ ,  $r = 0,352^{**}$ ) respectivement. La forme la plus courante et la plus mobile du zinc dans les sols est  $Zn^{2+}$  qui est facilement adsorbé sur les composants minéraux et organiques, ce qui conduit à une accumulation dans les horizons superficiels. L'effet significatif de la teneur en argile et sable fin sur le plomb indique que la mobilité des métaux dépend essentiellement de la texture du sol, c'est la fraction granulométrique fine (argile et sable fin) qui

conditionne la mobilité des métaux dans le sol. Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que dans les sols étudiés, la mobilité et la distribution du plomb et zinc issus de retombées atmosphériques dépend essentiellement des paramètres physico-chimiques et de la composition granulométrique du sol.

### References:

- Vinogradova, A. A. (2000). *Anthropogenic pollutants in the Russian Arctic atmosphere: sources and sinks in spring and summer* – Atmospheric Environment, 34 (29-30). 5151-5160.
- Meshalkina, J. L., Stein, A., & Makarov, O. A. (1996). *Spatial variability of soil contamination around a sulphurous acid producing factory in Russia* - Water, Air, and Soil Pollution, 92: 289-313.
- Peters, R. W. (1999). *Chelating extraction of heavy metals from contaminated soils* – Journal of Hazard Mater, 66 : 151-210.
- Makram, H. (2010). *Phytorestauration des sédiments de la rivière Saint-Charles et du port de Montréal contaminés aux métaux lourds et aux hydrocarbures aromatiques polycycliques*. Mémoire. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Maîtrise en sciences de la Terre. P27-30.
- Sbaa, M., Chergui, H., Melhaoui, M., & Bouali A. (2000). *Test d'adsorption des métaux lourds (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) sur des substrats organiques et minérales*, Ville d'Oujda. Mar. des Sciences Agro. et Vétér.
- Wu, J., West, L. J., & Stewart, D. I. (2002). *Effect of Humic substances on Cu(II) solubility in kaolin-sand soil*. Journal of Hazardous Materials, Vol. 94, No.3: 223-238.
- Lions, J. (2004). *Étude hydrogéochimique de la mobilité de polluants inorganiques dans des sédiments de curage mis en dépôt: expérimentations, études in situ et modélisation*. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, France: 248.
- Sturchio, N.C., Chiarello, R. P., Cheng, L., Lyman, P. F., Bedzyk, M. J., Qian, Y., You, H., Yee, D., Geissbuhler, P., Sorenson, L., Liang, Y., & Baer, D. (1997). *Lead adsorption at the calcite-water interface: Synchrotron X-ray standing wave and X-ray reflectivity studies*. Geochim. Cosmochim. Acta, (61): 251–264.
- Bourg, A. C. M. (1988). *Metal in aquatic and terrestrial systems: sorption, speciation, and mobilisation*. In: W. Salmons, U. Forstner (éditeur.), Chemistry and biology of solid waste, pp. 3-30. Springer Verlag, New York.
- Kabata-Pendias, A. (2001). *Trace elements in soils and plants*. Third Edition. NY: CRC Press: 415.
- Deschamps, T., Benzaazoua, M., Bussière, B., Belem, T., & Mbonimpa, M. (2006). *Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide: Cas de*

*la stabilisation des sols contaminés et des déchets industriels.* VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement, 7(2).