

## Impact du transport routier sur le dépôt et le transfert du plomb et du zinc dans le sol sur la route Lubumbashi-Likasi (RD Congo)

### [ Impact of road transport on the deposit and transfer of lead and zinc in the soil on the Lubumbashi-Likasi road (DR Congo) ]

*Muyumba Nonga Welcome<sup>1,2</sup>, Kalonda Mutombo Emery<sup>3</sup>, Mbayo Kitambala Marsi<sup>3</sup>, Kapasi Kambuyi Victor<sup>1</sup>, Ilunga Banza Bienvenue<sup>3</sup>, Chipeng Kayemb François<sup>4</sup>, Lukumu Mulamba Emmanuel<sup>5</sup>, Tshibanda Kabumana Dieudonné<sup>6</sup>, Ngoy Kihuya Edouard<sup>1</sup>, Muleka Kimpanga Célestin<sup>1</sup>, and Lumbu Simbi Jean-baptiste<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Département de Chimie-physique, Section sciences Exactes, Institut Supérieur Pédagogie de Lubumbashi, 1825 Lubumbashi, RD Congo

<sup>2</sup>Département de Chimie Thérapeutique et Pharmacognosie, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université de Mons, 7000 Mons, Belgium

<sup>3</sup>Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Lubumbashi, 1825 Lubumbashi, RD Congo

<sup>4</sup>Département de Biologie-Chimie, Section sciences Exactes, Institut Supérieur Pédagogique de Lubumbashi, 1825 Lubumbashi, RD Congo

<sup>5</sup>Département de Chimie Industrielle, Faculté de Polytechnique, Université de Lubumbashi, 1825 Lubumbashi, RD Congo

<sup>6</sup>Département de Métallurgie, Faculté de Polytechnique, Université de Lubumbashi, 1825 Lubumbashi, RD Congo

---

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This work was initiated in order to assess the content of trace metals (TM) from traffic and road infrastructure on a section of national No.1, one linking the cities of Lubumbashi and Likasi in Republic Democratic of Congo. To achieve this, samples of dust on the floor and soil near the road were taken at different depths at the site between the bifurcations of the airport road and Kasenga. Analyses focused on total levels of lead (Pb) and zinc (Zn). The dosage of TM was performed using an atomic absorption spectrometer and measurement pH of soil performed using a pH meter. The results obtained showed that the pH values found (between 5.82 to 7.68) allowed good adsorption and the Zn concentrations were higher than those of the Netherlands standard. However, these levels decreased away from the roadway. Similarly, depending on the depth, the Zn contents were 38.46% (5/13 results) higher than the value of the same standard. However, 38.46% of the values of Pb and 53.85 % Zn (7/13 results) values were higher than those of the standard agricultural soil set by France. These results support the hypothesis that the dust on the floor and close to soils are rich in TM because of contributions due to road traffic.

**KEYWORDS:** Road sector, trace metals, soil, traffic, dust, Lubumbashi.

**RESUME:** Le présent travail a été initié dans le but d'évaluer la teneur en éléments traces métalliques (ETM) issus du trafic et des infrastructures routiers sur un tronçon de la nationale n°1, celui reliant les villes de Lubumbashi et Likasi en RD Congo. Pour y parvenir, des échantillons de poussières sur la chaussée et de sols à proximité de la route ont été prélevés à différentes profondeurs au niveau du site compris entre les bifurcations de la route de l'aéroport et de Kasenga. Les analyses ont porté sur les teneurs totales en plomb (Pb) et zinc (Zn). Le dosage des ETM a été réalisé à l'aide d'un spectromètre d'absorption

atomique et les mesures de pH effectuées à l'aide d'un pH-mètre. Les résultats obtenus ont montré que les valeurs de pH trouvées (comprises entre 5,82-7,68) permettaient une bonne adsorption et que les teneurs en Zn étaient supérieures à celles de la norme fixée par le Pays-Bas. Cependant, ces teneurs diminuaient en s'éloignant de la chaussée. De même, en fonction de la profondeur, les teneurs de Zn sont à 38,46% (5/13 résultats) supérieures à la valeur de la même norme. En revanche, 38,46 % des valeurs de Pb et 53,85% (7/13 résultats) des valeurs de Zn étaient supérieures à celles de la norme des sols agricoles fixée par la France. Ces résultats corroborent l'hypothèse selon laquelle les poussières sur la chaussée et les sols à proximité immédiate sont riches en ETM à cause des apports dus au trafic routier.

**MOTS-CLEFS:** Domaine routier, éléments traces métalliques, trafic, poussière, Lubumbashi.

## 1 INTRODUCTION

Les sources d'émissions des Éléments Traces Métalliques (ETM) sont multiples. C'est le cas de l'industrie de chauffage, des pratiques agricoles, de trafic routier et des composts urbains et de l'altération de la roche mère. La circulation automobile et les infrastructures routières constituent aussi des sources d'ETM, mais la pollution par les ETM ne représente qu'une fraction de la pollution chronique provenant des véhicules en circulation et de l'usure des équipements de la route [1].

Plusieurs études expérimentales relatives à la détermination de la qualité des sols en bordure des chaussées [2], [3], [4], [1] et [5] ont montré la possibilité de dépôt et infiltration des ETM dans les sols en bordure des routes.

Dans la pratique, le sol naturel sous-jacent à la route est scalpé jusqu'à au moins 30 cm de profondeur avant d'être compacté [5]. L'émission de polluants à partir des sources potentielles en domaine routier est certaine et l'étude des phénomènes de transfert de dépôt des polluants métalliques issus du domaine routier dans les sols routiers dépend de types de polluants, de sources de pollutions, des sols et de l'écosystème. La présence des ETM en domaine routier ne devient une menace que lorsque le sol assure le support de transfert de vers les autres points de l'écosystème, sinon le sol est une barrière à la pollution de l'environnement en fixant les ETM vis-à-vis du flux polluant et en protégeant ainsi les eaux souterraines de la contamination [2], [3], [4], [1], [5].

La rétention des éléments traces métalliques par les sols dépend d'une part, de la nature des minéraux qui les composent et de leurs constituants organiques et d'autre part, de la nature du métal en solution, de la composition et du pH de la solution percolante [6], [7], [5]. Par ailleurs, l'efficacité à long terme de cette potentielle barrière chimique qui dépend de la stabilité de la rétention des ETM est contrôlée par différents mécanismes notamment l'adsorption, sur les surfaces actives des minéraux et sur les composés humiques (échange ionique, adsorption spécifique), la diffusion dans les structures minérales primaires et secondaires et la précipitation [8], [7], [5].

La province du Haut-Katanga étant une grande région minière de la RD Congo, ses voies de communication routière reliant les centres d'exploitation minière et les usines de concentration n'échappent pas à la contamination des ETM emportés par les vents, transportés par effet d'usure des épaves et pneus abandonnées et par ruissellement et infiltration à partir des sources minérales déversées accidentellement.

Voilà pourquoi il a été proposé d'évaluer le degré de pollution par les ETM le long de la chaussée reliant la ville de Lubumbashi aux centres d'exploitation minière de Likasi. Pour ce faire, le tronçon compris entre la route de l'aéroport et la route de Kasenga (tronçon ayant une forte densité de trafic) a servi de cadre de la présente étude visant à la fois l'identification de la nature et de la composition de ces ETM sur ce tronçon de la chaussée, la mesure de leur impact face aux pratiques agricoles et la mise en évidence de la qualité chimique des sols et poussières sur cette partie de la route nationale n°1. Pour l'évaluation de la qualité chimique des sols et des poussières, les teneurs en plomb et zinc ont été mises en jeu.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 ORIGINE ET PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Le sol concerné pour la réalisation de cette étude vient des proximités de la chaussée de la route de Likasi entre la bifurcation de la route de l'aéroport et celle de la route de Kasenga pendant la période allant du 03/08 au 31/08/2014. Nous avons réalisé notre échantillonnage pendant la saison sèche pour bien collecter les poussières. Il a été prélevé à vingt centimètres sous la surface topographique et à vingt-cinq mètres de la chaussée au maximum. Ce site a été choisi en s'appuyant

sur la concentration en plomb et en zinc généralement élevée dans les pneumatiques, les garnitures de frein et à l'échappement dans le domaine routier. A cette fin, à partir d'une analyse de la composition chimique du plomb et du zinc dans ce sol et par fraction granulaire, seule la fraction inférieure à 2000  $\mu\text{m}$  du matériau a été utilisée pour atteindre le but.



Fig. 1. Localisation du site d'étude

## 2.2 SITE DE PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS

La figure 2 ci-après indique les différents points de prélèvement des sols et des poussières sur le site d'étude. Cette figure symbolise notre site expérimental déjà décrit sur la figure 1.

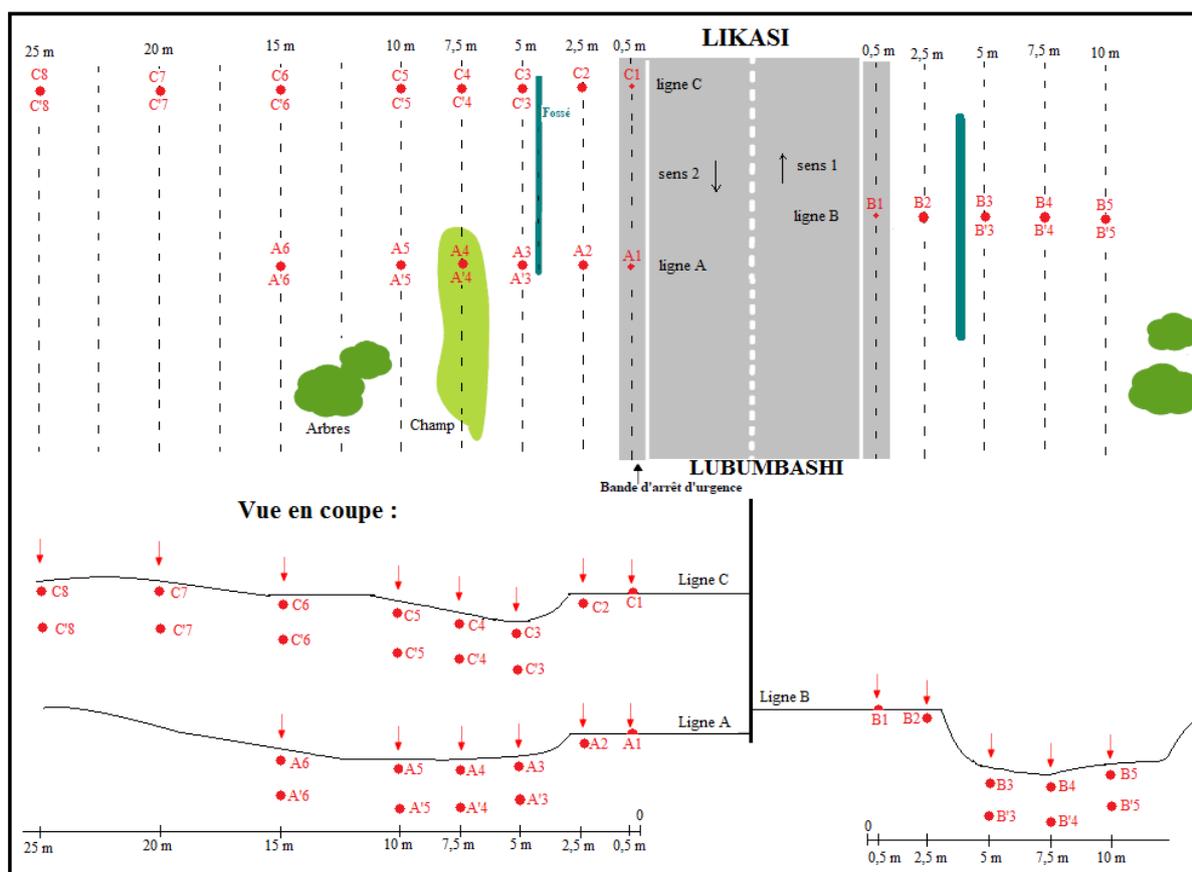


Fig. 2. Localisation des points de prélèvement des sols et des poussières sur le site d'étude

Long d'environ 775 mètres, le site d'étude concerné est l'un des tronçons au trafic automobile le plus intense sur la route Lubumbashi-Likasi, comparativement à d'autres tronçons, sur la même route. Sur la figure 2 ci-dessus sont représentés l'ensemble des points de prélèvements.

### 2.3 MODE DE PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS

Le plan d'échantillonnage est tracé en fixant des distances entre différents prélèvements, au niveau de la surface et en profondeur. Les échantillons des sols et des poussières ont été prélevés et stockés dans des sacs en polyéthylène. Dans le cas de la poussière, le prélèvement s'effectuait à 0,5 m de la chaussée sur la bande d'arrêt d'urgence. Dans celui des sols, il était nécessaire de se servir d'une truelle en acier inoxydable et d'une corde. Après prélèvements, les échantillons ont été d'abord séchés à l'air libre, puis à l'étuve à une température inférieure à 40°C [6] avant d'être tamisés à 2 mm, selon la norme NF ISO 11 464 de prétraitement des sols pour analyses physico-chimiques [9]. Il a été effectué deux séries principales de prélèvements: l'une en surface (0 – 2 cm), série S, et l'autre en profondeur (2 - 20 cm), série P. En allant vers Likasi, trois lignes ont été tracées de part et d'autre de la route, dont deux à gauche (A et C) et une à droite (B) sur lesquelles ont été effectués des prélèvements en surfaces (a, b, c) et en profondeur (a', b', c').

**Tableau 1. Désignations des échantillons**

Séries	Lignes	Distance de prélèvement par rapport à la route (m)							
		0,5	2,5	5	7,5	10	15	20	25
S	A	a1	a2	a3	a4	a5	a6	-	-
	B	b1	b2	b3	b4	b5	-	-	-
	C	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
P	A'	-	-	a'3	a'4	a'5	a'6	-	-
	B'	-	-	b'3	b'4	b'5	-	-	-
	C'	-	-	c'3	c'4	c'5	c'6	c'7	c'8

Pour les deux séries, l'effectif total est de trente-deux échantillons. Une fois prélevés, les échantillons étaient déposés au laboratoire dans les 24 heures qui suivaient le prélèvement. Pour évaluer l'impact des épandages sur l'environnement, nous avons fait la comparaison des résultats trouvés aux normes sur le sol en bordure des routes et sur le sol des champs de culture.

#### 2.4 CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX ET DES SOLUTIONS

La caractérisation de nos échantillons a consisté à déterminer la répartition des éléments suivant leur granulométrie, l'acidité, ainsi que la présence des ETM notamment le plomb et le zinc. Il a été aussi nécessaire de déterminer les paramètres physico-chimiques et chimiques de différents échantillons prélevés sur la route et à quelques mètres de part et d'autre en suivant les protocoles des sols normalisés par l'AFNOR (pH) tel que stipulent [3] et [4].

#### 2.5 PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Elle a consisté à faire le séchage, le tamisage pour éventuellement éliminer les graviers. Précédée du quartage en vue de reconstituer un échantillon représentatif du matériel initial, l'analyse granulométrique du sol jusqu'au diamètre de 63 µm a été faite en utilisant une série de tamis de coupures respectives de 2000 µm, 1000 µm, 125 µm, 90 µm et 63 µm.

#### 2.6 CARACTÉRISATION GRANULOCHEMIQUE DES SOLS

L'analyse granulochimique des échantillons C3 et C'3 a été réalisée au moyen d'une série de tamis de coupures de 1000 µm, 125 µm, 90 µm et 63 µm. Sur toutes les fractions obtenues, les principaux éléments ont été analysés afin de déterminer la répartition dans les différentes tranches granulométriques.

#### 2.7 DÉTERMINATION DE L'ACIDITÉ DES ÉCHANTILLONS

Les mesures de pH ont été effectuées selon la méthode d'AFNOR et selon la norme NF ISO 10390 à l'aide du pH-mètre de marque Consort C732 pour appréhender la mobilité et la biodisponibilité des ETM dans le sol étudié.

#### 2.8 ANALYSES CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS

Pour le sol, après séchage à 40 °C, le tamisage et le quartage afin d'avoir des échantillons plus représentatifs; la mise en solution s'est faite par les acides chlorhydrique (HCl), perchlorique (HClO<sub>4</sub>) et nitrique (HNO<sub>3</sub>) (norme NF X 31-147) [10], [11]. Les matériaux ont été analysés par spectrométrie d'absorption atomique de marque Analytik Jena AG Win AAS Version 3.13.0. Les valeurs en plomb et en zinc trouvées ont été comparées à celles de référence (norme NF T90-119).

#### 2.9 EVALUATION DE LA POLLUTION MÉTALLIQUE DES SOLS

Pour bien évaluer la pollution métallique du sol dans cette étude, il a été considéré les normes hollandaises des sols en domaine routier et française des sols agricoles étant donné que la RD Congo n'en dispose pas. La norme française a été extraite de l'Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles en application suivant le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 et relativement à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées (Tableau 2).

Le sol a été caractérisé par des analyses granulochimiques après les prélèvements de pH sur les fractions inférieures à 2000 µm selon la norme NF ISO 10390. Puis les teneurs en plomb et zinc dans les échantillons ont été déterminées.

**Tableau 2. Références de teneurs en Pb et Zn des sols**

Sources	Plomb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zinc (mg.kg <sup>-1</sup> )
Valeurs limites caractéristiques des sols pollués en bordure des chaussées (Pays Bas)	530	720
Valeurs pour la norme des sols agricoles (France)	100	300

### 3 RÉSULTATS

Lors de la campagne d’Août 2014, trente-deux prélèvements, trois de poussières et vingt-neuf de sols, ont été réalisés. Les différents résultats obtenus sont comparés aux valeurs limites caractéristiques des sols pollués en bordure des chaussées (Pays Bas) et celles des sols agricoles (France).

Dans le tableau 3 sont repris les résultats relatifs au pH des échantillons des sols et des poussières. Les séries S et P se rapportent respectivement aux prélèvements des sols en couche de surface et de profondeur.

**Tableau 3. Valeurs de pH des échantillons des sols (Séries S et P) et des poussières**

Lignes	Séries	Distance de prélèvement par rapport à la route (m)							
		0,5	2,5	5	7,5	10	15	20	25
A	S	7,28	7,60	7,33	7,58	7,22	7,48	-	-
	P	-	-	7,55	7,47	7,05	6,83	-	-
B	S	7,27	7,32	7,34	7,38	7,18	-	-	-
	P	-	-	6,83	7,02	7,18	-	-	-
C	S	7,46	7,49	7,28	7,56	7,23	7,19	6,71	6,60
	P	-	-	7,41	7,46	6,28	6,12	5,84	5,82

Les valeurs de pH diminuent légèrement au fur et à mesure qu’on s’éloigne de l’axe de la chaussée. La diminution du pH favorise l’état ionique du plomb jusqu’à pH 5,9 et celui du zinc jusqu’à pH 6,9 [4]. Les valeurs des pH dans l’ensemble sont légèrement basiques, dont 75 % des valeurs trouvées sont légèrement basiques et 25 % des valeurs légèrement acides.

Les teneurs en éléments traces métalliques à la surface des sols et des poussières sont repris dans le tableau 4.

**Tableau 4. Teneurs en Pb et Zn (ppm) dans les sols de surface et dans les poussières**

Lignes	ETM	Distance de prélèvement par rapport à la route (m)								Normes	
		0,5	2,5	5	7,5	10	15	20	25	Pays Bas	NSA*
A	Pb	329	234	143	147	100	69	-	-	530	100
	Zn	11752	4101	2209	1610	687	515	-	-	720	300
B	Pb	230	112	85	45	40	-	-	-	530	100
	Zn	3411	1910	721	210	148	-	-	-	720	300
C	Pb	367	195	152	152	142	103	53	48	530	100
	Zn	12301	4099	2198	1502	1300	843	280	144	720	300

\* NSA: Normes Sols Agricoles (France)

Légende: valeurs en rouge excèdent celles de la norme hollandaise des sols en bordure des chaussées

En surface, les résultats du tableau 4 ont montré que les teneurs en Zn sont relativement élevées dans les poussières déposées sur la chaussée (12301 ppm). Les teneurs en Zn sont aussi plus fortes dans les deux premiers centimètres du sol de

surface à proximité immédiate de la chaussée (4101 ppm). Le Pb présente des teneurs faibles, mais relativement élevées pour un sol agricole. La variation des teneurs en ces éléments traces par rapport à l'éloignement à la route indique que plus on s'écarte de la route plus les teneurs en Pb et Zn diminuent.

Tableau 5. Teneurs en Pb et Zn (ppm) des sols de profondeur

Lignes	ETM	Distance de prélèvement par rapport à la route (m)								Normes	
		0,5	2,5	5	7,5	10	15	20	25	Pays-Bas	NSA*
A'	Pb	-	-	145	154	72	24	-	-	530	100
	Zn	-	-	1511	1409	581	207	-	-	720	300
B'	Pb	-	-	35	31	23	-	-	-	530	100
	Zn	-	-	189	163	94	-	-	-	720	300
C'	Pb	-	-	174	153	142	67	64	41	530	100
	Zn	-	-	1710	1409	1312	495	197	116	720	300

\* NSA: Normes Sols Agricoles (France)

Légende: valeurs en rouge excèdent celles de la norme hollandaise des sols en bordure des chaussées

Par ailleurs, en profondeur, les teneurs en Zn sont également élevées (1710 ppm) sur la ligne C. Le Pb présente des teneurs faibles comparativement au Zn, mais tout de même supérieures à la norme agricole (tableau 5). Les teneurs diminuent au fur et à mesure qu'on s'écarte de la chaussée et les teneurs en profondeur sont inférieures à celles en surface.

En observant les deux profils analysés, les teneurs des ETM identifiés aux abords de la chaussée diminuant de plus en plus qu'on s'éloigne de la chaussée ou de plus en plus qu'on descend en profondeur indiquent que l'origine du Zn et du Pb est exogène. Les résultats de treize échantillons de sols sont repris dans le tableau 5.

Sur toutes les fractions obtenues, les principaux éléments ont été analysés afin de déterminer la répartition dans les différentes tranches granulométriques. Les résultats de ces analyses sont repris dans le tableau 6.

Tableau 6. Evolution de la teneur en Pb et Zn en fonction de la distribution granulométriques des échantillons c3 et c'3

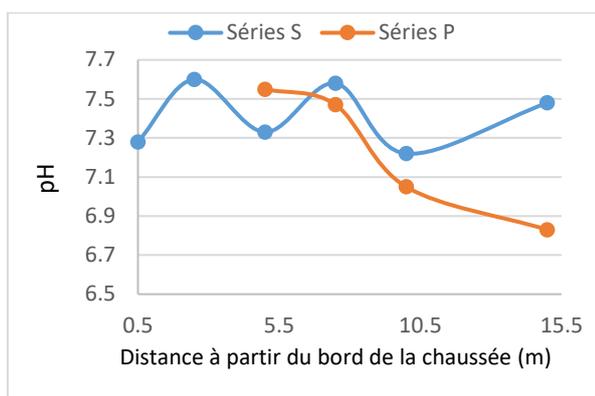
Tranches granulométriques (µm)	Fractions		Teneur en ETM (ppm)			
	Poids		Pb	Zn	Pb	Zn
	g	%	Série S (0-2 cm)		Série P (2-20 cm)	
1000	9,84	4,2	108	1411	107	1900
125	124,52	53,0	117	1910	115	2008
90	6,54	2,8	131	2012	185	2201
63	94,25	40,0	169	3100	190	2400
<b>Total</b>	<b>235,15</b>	<b>100</b>				

Légende: valeurs en rouge excèdent celles de la norme hollandaise des sols en bordure des chaussées

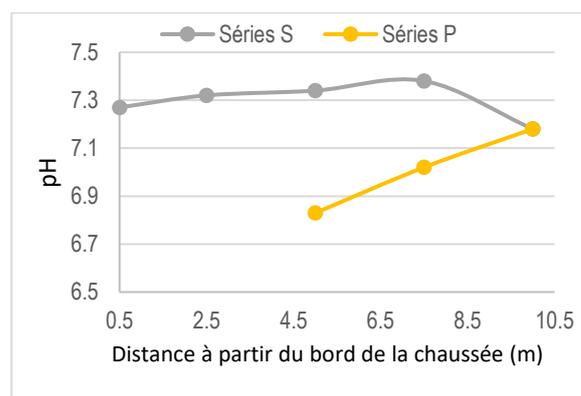
Les résultats (tableau 6) montrent que les concentrations varient selon les mailles. Comme pour les autres résultats, le zinc s'est révélé l'élément le plus abondant sur toutes les coupures de classification granulométrique en surface et en profondeur.

#### 4 DISCUSSION

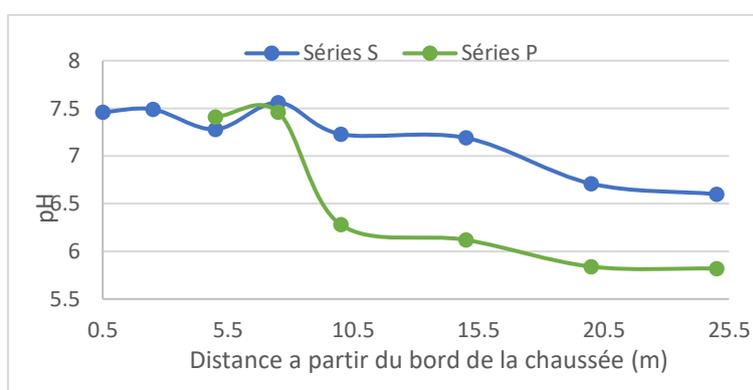
La variation du pH est le paramètre qui modifie facilement le comportement des éléments traces métalliques entre autre la mobilité et la biodisponibilité [12], [4]. Or, les sols analysés ont des valeurs comprises entre 5,82-7,68 avec 75 % des valeurs de pH légèrement basiques et 25 % des valeurs de pH légèrement acides, pour l'ensemble des sols et poussières. Les valeurs de pH en surface sont en général supérieures à celles en profondeur respectivement à 83,33 et 16,67% comme nous montre la figure 3 ci-dessous.



*Sol sur la ligne A du côté gauche sur la route vers Likasi*



*Sol sur la ligne B du côté droit sur la route vers Likasi*



*Sol sur la ligne C du côté gauche sur la route vers Likasi*

Légende: S: Sol de surface; P: sol de profondeur

**Fig. 3. Evolution du pH des sols aux bords et des poussières déposées sur la route Lubumbashi-Likasi**

La majorité des valeurs de pH trouvées (supérieures à 7,2), montrent d'après [7] que le Zn se trouve en grande quantité sous la forme d'hydrozincite ( $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ ) et en petite quantité sous forme de  $Zn^{2+}$ . Dans la même gamme, le Pb se trouve en grande quantité sous la forme  $Pb(OH)_2$  et en très petite quantité sous la forme  $Pb^{2+}$  [4], [7]. En effet, il existe, selon le métal considéré, un pH en dessous duquel les métaux sont brusquement relargués; ce qui entraîne leur mobilisation et leur biodisponibilité [12], [4]. Ce pH est de l'ordre de 4 pour le Pb et de 5,5 pour le Zn [13].

Le Zn, aux pH basiques, peut précipiter comme hydrozincite ( $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ ) entre les valeurs de pH 7,2 et pH 10 ou comme hydroxyde Zn ( $Zn(OH)_2$ ) au-delà du pH 10 [7]. Dans ce travail, les résultats des pH n'ont pas atteint des valeurs de plus de 10 pour nous permettre de déterminer le complexe  $Zn(OH)_2$  pouvant se former à 25°C. Les teneurs en Zn dans les sols sont presque partout supérieures à celles de la norme. Ce métal connaît une bonne adsorption, par chimisorption, lorsque les pH des sols varient entre 6 et 10 [14], [10], [15], c'est qui est le cas dans ce travail. Ceci favorise la migration de ce métal dans ces sols à texture essentiellement limono-argilo sableuse [10].

Des sols à pH inférieurs 6,8 tels que le montrent les échantillons C7, C8, C'5, C'6, C'7, C'8 dans ce travail, constituent une phase qui, avec la solubilité de l'hydrozincite vont contrôler l'équilibre du pH, par le sol [16], [17], [4], [7].

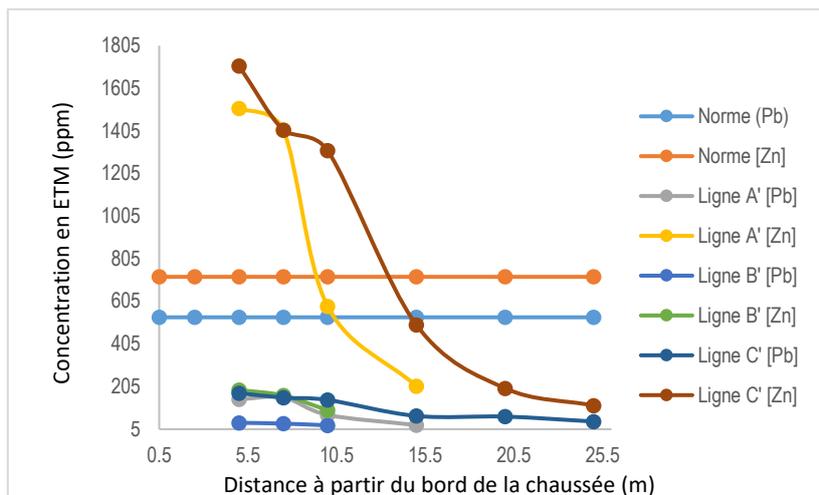


Fig. 4. Evolution de la concentration en ETM en s'éloignant de la distance en profondeur

Pour les sols de surface en bordure de la route de Likasi et les poussières sur la même route, l'analyse des résultats (tableau 4) montrent que pour les 19 échantillons étudiés, les teneurs en Zn sont à environ 68,42 % supérieures à la norme fixée par le Pays-Bas (720 ppm), alors qu'il apparaît clairement qu'aucune concentration de Pb n'excède cette de la norme (530 ppm) tout en ayant la concentration la plus élevée de 367ppm. Les teneurs en éléments traces métalliques (tableau 4) diminuent en s'éloignant de la chaussée, ce qui expliquerait l'apport du trafic d'automobiles: c'est qui corrobore les études antérieures qui ont signifiées que le trafic routier pollue généralement les sols à proximité immédiate des chaussées [5].

Sur toutes les lignes de prélèvement en surface, les concentrations du Zn excèdent à 100 % la norme (Pays Bas) jusqu'à 5 m, alors on peut dire sans aucun doute que le zinc provenant du trafic routier pollue d'une façon constante ce sol jusqu'à cette distance.

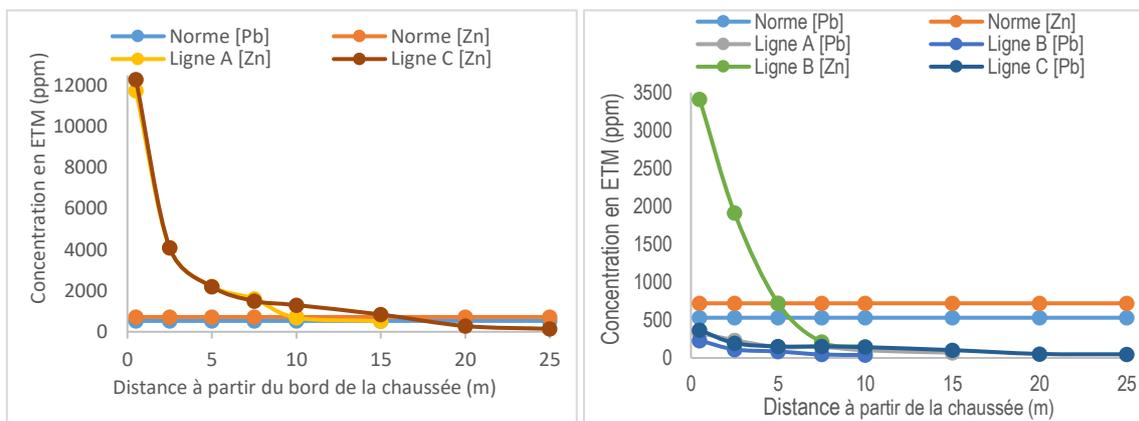


Fig. 5. Evolution de la concentration en ETM en s'éloignant de la distance en surface

La teneur du zinc dans les échantillons analysés corrobore les résultats de [4]. En effet, dans ses recherches, elle avait trouvé que les sols en bordure de la route nationale 12 à proximité de la ville de Houdan à environ 50 kilomètres de Paris contenaient le zinc à des concentrations de  $2580 \pm 150$  ppm, valeurs plus élevées que la norme néerlandaise de 720 ppm.

Comme les vents dominants soufflent de l'Est vers l'Ouest et du sud-est vers le Nord pendant la plus grande partie de l'année, principalement en saison sèche [18], cela explique le fait que les éléments traces métalliques polluent à l'Ouest jusqu'aux environs de 15 m sur la ligne C comparativement à l'Est jusqu'à 5 m sur la ligne B de la chaussée.

Les concentrations du Zn sont largement élevées comparativement à celles du Pb, cela peut être dû au fait que le Zn à plusieurs sources en domaine routier (les pneus, les glissières de sécurité, ...). Les teneurs en ETM (tableau 4) montrent

également que les concentrations en Pb et en Zn sont respectivement à 53,85 % et à 69,23% supérieures aux valeurs de la norme de sols agricoles fixées à 100 ppm et 300 ppm respectivement pour le plomb et le zinc, ce qui ne donne pas une bonne qualification agricole à ce sol.

Il apparaît nettement qu'en profondeur, c'est-à-dire entre 2-20 cm (tableau 5) que les teneurs en Zn sont à 38,46 % supérieures à la valeur de la norme (Pays Bas) fixée à 720 ppm, alors que celle en Pb sont toutes inférieures à celle de la norme fixée à 530 ppm. En plus, 38,46 % des valeurs de Pb et 53,85 % des valeurs de Zn sont supérieures à celles de la norme des sols agricoles. En analysant le tableau 5, les concentrations du Pb et du Zn en profondeur diminuent horizontalement et verticalement partant de la source de pollution (la chaussée).

L'étude de la spéciation des polluants métalliques apporte des informations sur leurs interactions avec la phase solide et sur leurs forces de liaison avec cette dernière, donc sur leur mobilité. Le danger potentiel pour l'environnement étant directement lié à la mobilité et à la biodisponibilité des éléments polluants, il est conditionné par la nature des phases solides auxquelles ils sont associés [4].

L'adsorption des cations métalliques peut se présenter sous deux formes [19], la première correspond à des interactions de type ionique, dans lesquelles les cations jouent le rôle d'ions compensateurs dans la couche diffuse (adsorption non spécifique); la deuxième correspond à la formation de complexes métalliques de surface par la mise en jeu de liaisons covalentes entre le métal et certaines espèces (adsorption spécifique). Les différentes corrélations observées d'une part, entre les ETM, l'acidité et la basicité du sol, autorisent à ranger les résultats obtenus dans ces deux cas.

Les teneurs trouvées lors de l'analyse granulochimique (tableau 6) des échantillons C3 et C'3, montrent que les sols en surface (0-20 cm) tout comme en profondeur (2-20 cm) présentent 42,86 % des particules de dimension inférieure à 125 µm et 95,81 % des particules de dimensions inférieures à 1000 µm. Les teneurs en Pb et en Zn augmentent en fonction de la diminution des mailles des tamis. En effet, la taille des particules a une influence sur de nombreuses caractéristiques du sol (surface spécifique, perméabilité, ...) et donc sur le comportement des polluants par les phénomènes d'infiltration et de rétention des ETM [4].

La mobilisation du Pb et du Zn contenus dans ces matrices solides peut varier selon les variations des conditions physico-chimiques dans le milieu routier, comme une acidification du milieu lors des pluies acides ou le déversement accidentel de produits chimiques complexant [4].

## **5 CONCLUSION**

Les résultats obtenus dans ce travail permettent de procéder à une évaluation de la pollution métallique des sols et des poussières sur un tronçon de la route Lubumbashi-Likasi. Ces résultats montrent que les concentrations en plomb et zinc dans les poussières tout comme dans les sols à proximité immédiate de la chaussée sont largement élevées par rapport à celles des normes fixées par le Pays-Bas pour les sols en domaine routier.

Les sols au-delà de 5 m, considérés comme sols agricoles sur cette contiennent également des concentrations élevées comparativement à celles de la norme fixée par la France pour les sols agricoles. Dans la majorité des échantillons, le pH étant majoritairement basique, il faut craindre une remobilisation des métaux lors des changements physico-chimiques. Ces résultats peuvent servir de base aux politiques environnementales nationales et autres qui visent à protéger le compartiment "sol" de l'environnement qui, suite aux changements brusques pourrait servir de vecteur des ETM dans la nappe phréatique.

Les concentrations élevées sur le site étudié, montre que le plomb et le zinc déposés à proximité immédiate de cette route peut avoir un impact sur les cultures alors, il serait judicieux d'éloigner les cultures au-delà de 25m de la chaussée de la route Lubumbashi-Likasi.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs remercient tous les personnels du laboratoire d'accueil l'Ingénieur Longwa Ngoy, technicien en Chef de notre laboratoire d'accueil, pour ses compléments d'information, pour les multiples services qu'il nous a rendus durant nos quatre semaines d'analyse.

## REFERENCES

- [1] J. Carsignol et L. Calovi, "La pollution des sols et des végétaux à proximité des routes - Les éléments traces métalliques (ETM)," Note d'information du Sétra, Série Écon. Environ. Concept, 73, pp. 1-12, 2004.
- [2] C. Dierke and W. F. Geiger, "Pollution retention capabilities of roadside soils," *Water Science Technologie*, vol. 39, pp. 201-208, 1999.
- [3] C. Pagotto, "Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier," Thèse de doctorat, Université de Poitiers, pp. 115-139, 220-234, 1999.
- [4] G. C. Delmas, "Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans le sol et un sédiment en domaine routier," Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour, pp. 21-39, 68-78, 157-160, 2000.
- [5] D. François et M. Bouvet, "Transfert et spéciation de plomb et zinc issus de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères dans un sol routier calcique," *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, pp. 51-63, 2009.
- [6] D. Baize, "Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France)," Edition INRA, pp. 258-260, 1997.
- [7] P. Hlavackova, "Evaluation du comportement du cuivre et du zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologies," Thèse de doctorat, Science et Techniques du Déchet, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, pp. 57-70, 2005.
- [8] G. Sposito, "The chemistry of soil: New York," Oxford University Press Inc., pp. 159-160, 1989.
- [9] AFNOR, "Qualité des sols" Edition AFNOR, pp. 408-412, 1999.
- [10] R. Jeannot, B. Lemièrre, S. Chiron, F. Augustin et D. Darmendrail, "Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués," Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement de l'Etat Français, Edition BRGM, Document publique, pp. 19-21, 2001.
- [11] H. Ciesielski, A. Guérin-Lebourg, et N. Proix, "Effets du pH sur l'extraction des éléments traces métalliques dans les sols," *Etude et Gestion des Sols*, vol. 14, no. 1, pp. 7-30, 2007.
- [12] I. Martinelli, "Infiltration des eaux de ruissellement pluvial et transfert de polluants associés dans le sol urbain vers une approche globale et pluridisciplinaire," Thèse de doctorat, Spécialité Conception en bâtiment et techniques urbaines, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, pp. 158-163, 1999.
- [13] N. Touré, A. Yao-Kouamé, K. A. Alui, et T. P. Guety, "Evaluation en éléments majeurs et traces métalliques d'un environnement de production agricole dans la vallée du Niéki au Sud-Est de la Côte d'Ivoire," *Journal of Applied Biosciences*, 34, pp. 2134-2144, 2010.
- [14] A. Pichard, M. Bisson, R. Diderich, N. Houeix, C. Hulot, G. J. P. Lacroix, S. Lefevre, H. Leveque, A. Magaud, et G. Morin, "Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques: Zinc et ses dérivés," INERIS-DRC-01-25590-ETSC-API/SD, N°00df259, pp. 36-38, 2003.
- [15] N. W. Muyumba, K. V. Kapasi, M. E. Kalonda, K. M. Mbayo, T. P. Tshisand, K. F. Chipeng, K. E. Ngoy, and S. J-B Lumbu, "Contribution of trace metals in water from the underground mining of Kipushi in Kafubu river (DR Congo)," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 15, no. 4, pp. 864-871, 2016.
- [16] J. T. F. Ashley, "Adsorption of Cu (II) and Zn (II) by estuarine, Riverine and terrestrial humic acids," *Chemosphere*, vol. 33, no. 11, pp. 2175-2187, 1996.
- [17] M. El Zahaby, "Contribution à la définition d'une norme des sites pollués: Elaboration d'une méthodologie pour l'évaluation de la contamination d'un sol par les éléments traces," Thèse de doctorat, Institut National de Polytechnique de Lyon, p. 85, 1998.
- [18] I. Vranken, "Pollution et contamination des sols aux métaux lourds dues à l'industrie métallurgique à Lubumbashi: Empreinte écologique, impact paysager, pistes de gestion," Mémoire de Master inédit, Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, p. 3, 2010.
- [19] R. Calvet et J. J. Msaky, "Facteurs influençant la détermination expérimentale des quantités de cations métalliques traces adsorbées par un matériau," *Science du Sol*, vol. 28, no. 1, pp. 1-14, 1990.