

Contribution à l'étude de la pollution particulaire de l'air en milieu urbain: « Cas des PM_{2,5} et PM₁₀ le long de la route Kasapa, dans la Ville de Lubumbashi, en R.D. Congo »

Contribution to the study of particulate air pollution in urban areas: « Case of PM_{2.5} and PM₁₀ along the Kasapa road, in the City of Lubumbashi, in R.D. Congo »

DOI: 10.46932/sfjdv2n3-026

Received in: May 1st, 2021

Accepted in: Jun 30th, 2021

Mpoyo Kumwimba Paul-Didi

Chargé des Cours à l'Université de Kamina ; Etudiant de Troisième Cycle à l'Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences, Département de Chimie
BP: 1825, Route Kasapa, Lubumbashi
E-mail: pauldidimpoyo@yahoo.fr

Dembo Emongo Claudine

Departementale à la Ligue pour la Protection et l'Observation des Ecosystèmes au Congo, ONG LIPOEC
17, Av du Parc/ des Tribunes, Quartier Makomeno, Lubumbashi, RD. Congo
E-mail: claudinedembo1@gmail.com

Muyumba Nonga Welcome

Assistant à l'Institut Supérieur Pédagogique de Lubumbashi ; Doctorant à l'Université de Mons, Unité de Chimie Thérapeutique et Pharmacognosie
7000 Mons, Belgique
E-mail: welcome.muyumbanonga@student.unimons.ac.be

Nsenga Nkulu Salvatore

Doctorant à l'Université Libre de Bruxelles; Chef des Travaux à l'Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité de Restauration Ecologique et Paysage
BP: 1825, Route Kasapa, Lubumbashi
E-mail: messinkulu@gmail.com

Zeka Mujinga Léon

Professeur Associé à l'Université de Lubumbashi, Faculté des Polytechniques, Département de Chimie Industrielle
BP: 1825, Route Kasapa, Lubumbashi
E-mail: zekamujinga@yahoo.fr

Kalonda Mutombo Emery

Professeur Associé à l'Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences, Département de Chimie
BP: 1825, Lubumbashi
E-mail: emerykalonda@gmail.com

Banza Lubaba Nkulu Celestin

Professeur Ordinaire à l'Ecole de Santé Publique, Université de Lubumbashi, Faculté de Médecine ;
Directeur de l'Unité de Toxicologie et Environnement
BP: 1825, Route Kasapa, Lubumbashi
E-mail: clubabankulu2017@gmail.com

Kyona wa Nsanga Crépin

Professeur Associé à l'Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences, Département de Chimie
BP: 1825, Route Kasapa, Lubumbashi
E-mail: kyonacrepin1@gmail.com

RESUME

La ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo (R.D. Congo), comme la plupart des villes africaines est confrontée à une démographie galopante avec un accroissement d'activités anthropiques dont le trafic routier qui, à côté de l'industrie, est souvent pointé du doigt comme émetteur des polluants atmosphériques, notamment les matières particulaires (PM) (1–4).

Plusieurs études ont prouvé que lors de leurs émissions dans l'atmosphère, les PM peuvent véhiculer des nombreuses substances toxiques comme les éléments traces métalliques (ETM)(5–7). Leur toxicité est également liée à leur taille qui favorise leur pénétration dans le système respiratoire. Une relation claire a également été observée entre l'exposition aux PM, la survenance des divers effets sanitaires(7)

Afin de parvenir à mettre sur pied des politiques de surveillance, de prévention et de réduction de leurs émissions; l'étude de la concentration des PM dans l'atmosphère, des causes de leurs toxicités et de leurs impacts sanitaires s'avère indispensable. L'objectif de ce travail est donc d'étudier la variation, d'une part, de la concentration des matières particulaires $PM_{2,5}$ et PM_{10} définies comme l'ensemble des particules dont la taille est inférieure à, respectivement 2,5 et 10 micromètres(4) dans l'atmosphère, et d'autre part, la variation de la concentration de certaines substances toxiques, notamment les ETM dans les dépôts atmosphériques solides, susceptibles d'accentuer leur toxicité(3,5). Les analyses chimiques effectuées par ICP sur les échantillons des dépôts atmosphériques solides (poussières), celles des échantillons des pneus et des plaquettes de freins; se sont concentrées sur le cuivre (Cu), le cadmium (Cd), le zinc (Zn), le Nickel (Ni).et le plomb (Pb)à l'exception du fer (Fe) qui n'a été analysé que dans les dépôts atmosphériques solides Notre étude a été réalisée le long de la route Kasapa, longue d'environ 5 km (Figure 1), elle est l'une des routes ayant un grand trafic automobile:

Les résultats obtenus montrent une présence des PM_{10} et $PM_{2,5}$ à des valeurs supérieure à la norme de l'OMS sur toutes les 5 stations. L'analyse des ETM dans les dépôts atmosphériques solides a révélé une présence remarquable du Cd, Ni, Cu, Fe, Zn et du Pb; quant à celle effectuée sur les pneus et les plaquettes des freins, nous avons trouvé des fortes concentrations en Cu, Zn, Cd, Ni, et Pb.

Ces résultats nous ont amené à conclure qu'il y a pollution particulaire le long de la route Kasapa, et le trafic routier en est l'une des causes majeure suite à la remise en suspension, l'abrasion des pneus et l'usure des plaquettes de freins dont la composition chimique en ETM accentue la toxicité de PM.

MOTS CLÉS — Pollution PM, Rayons laser, ICP MS, Route Kasapa, Lubumbashi.

ABSTRACT

The city of Lubumbashi in the Democratic Republic of Congo (D.R. Congo), like most African cities, is confronted with a galloping demography with an increase in anthropic activities including road traffic which, alongside industry, is often singled out as an emitter of atmospheric pollutants, particularly particulate matter (PM) (1-4).

Several studies have shown that when emitted into the atmosphere, PM can carry numerous toxic substances such as trace metal elements (TMEs)(5-7). Their toxicity is also related to their size which favors their penetration into the respiratory system. A clear relationship has also been observed between PM exposure and the occurrence of various health effects(7)

In order to set up policies for monitoring, prevention and reduction of their emissions, it is essential to study the concentration of PM in the atmosphere, the causes of their toxicity and their health impacts. The objective of this work is therefore to study the variation, on the one hand, of the concentration of particulate matter PM_{2.5} and PM₁₀ defined as all the particles whose size is respectively lower than 2.5 and 10 micrometers(4) in the atmosphere, and on the other hand, the variation of the concentration of certain toxic substances, in particular the ETM in the solid atmospheric deposits, likely to accentuate their toxicity(3, 5). The chemical analyses carried out by ICP on the samples of solid atmospheric deposits (dust), those of the samples of tires and brake pads; concentrated on copper (Cu), cadmium (Cd), zinc (Zn), nickel (Ni) Our study was carried out along the Kasapa road, which is about 5 km long (Figure 1), and is one of the roads with a lot of traffic:

The results obtained show the presence of PM₁₀ and PM_{2.5} at values higher than the WHO standard at all 5 stations. The analysis of TMEs in solid atmospheric deposits revealed a remarkable presence of Cd, Ni, Cu, Fe, Zn and Pb; as for the one carried out on tires and brake pads, we found high concentrations of Cu, Zn, Cd, Ni, and Pb.

These results led us to conclude that there is particulate pollution along the Kasapa road, and road traffic is one of the major causes following the resuspension, abrasion of tires and wear of brake pads whose chemical composition in TME accentuates the toxicity of PM.

Keywords: PM pollution, laser beams, ICP MS, Kasapa road, Lubumbashi.

1 INTRODUCTION

La pollution atmosphérique est reconnue dans plusieurs études comme étant un important facteur de risque pour la santé et l'environnement (10–12). Les milieux urbains sont les plus exposés avec la forte croissance démographique qui s'y observe, surtout en Afrique (13). Le trafic routier, un des corollaires de cette croissance démographique est pointé dans plusieurs études comme responsable des émissions des polluants atmosphériques (3,13) composés entre autre des matières particulaires dont les effets sur la santé font de plus en plus parler d'elles (5,14,15).

Ces particules en suspension qui pénètrent facilement le système respiratoire suite à leur taille microscopique (2,16) sont des polluants atmosphériques importants dont l'une des principales sources anthropiques en milieu urbain est le trafic routier. En effet, lors de leurs émissions dans l'atmosphère les

PM peuvent véhiculer de nombreuses substances toxiques(8) tels que des ETM dus notamment à l'usure des pneus et des plaquettes de freins des véhicules (2–5,17–19).

Plusieurs études menées sur la pollution atmosphérique ont montré que les risques sanitaires provenant d'un air ambiant dégradé par les PM n'étaient pas seulement immédiats, mais aussi la conséquence d'expositions longues à des substances toxiques véhiculées par celles-ci (5,14). De plus, leur toxicité n'est pas seulement liée à la nature et à la quantité des espèces chimiques qu'elles contiennent (3,5,20–22); parmi les polluants atmosphériques, les PM sont aussi considérées comme les plus dangereuses en raison de leur plus long temps de suspension dans l'air et leur capacité à pénétrer plus profondément dans l'appareil respiratoire(2). Elles sont par conséquent citées comme responsables des effets sanitaires graves comme: les perturbations des paramètres sanguins, les insuffisances pondérales à la naissance, la hausse de la mortalité surtout chez les enfants; les affections rénales, pulmonaires, cardiovasculaires et cérébraux; l'incidence du cancer pulmonaire, la bronchite, l'athérosclérose, la broncho-pneumopathie chronique obstructive (2,8). En outre, il apparaît plus clairement qu'une exposition de la mère à la pollution particulaire augmente le risque de naissance prématurée (2,8,13,16,23–25). Et très récemment la hausse de la mortalité liée au COVID-19 a été corrélée à la pollution particulaire à l'issue de deux études menées aux Etats Unis et en Italie sur cette pandémie (26,27).

D'une part, puisque le nombre estimé de décès imputables à la pollution atmosphérique a augmenté au fil des ans à l'échelle mondiale, la gestion de la pollution atmosphérique par les PM demeure une priorité pour les instances sanitaires (28), et d'autre part, afin de parvenir à mettre sur pied des politiques de surveillance, de prévention, de réduction de leurs émissions et de leurs conséquences sur la santé (OMS, 2006) et l'environnement, les études des concentrations des PM dans l'atmosphère ; des causes de leur toxicité et leurs impacts sanitaires s'avèrent indispensables.

Malheureusement très peu de données sont disponibles pour les villes Africaines en générales et Lubumbashi en particulier(3,21).

L'objectif de ce travail est d'étudier la variation, d'une part, de la concentration des matières particulaires $PM_{2,5}$ et PM_{10} dans l'atmosphère, et d'autre part, la variation de la concentration de certaines substances toxiques dans les dépôts atmosphériques solides, notamment les ETM, susceptibles d'accentuer leur toxicité(3,5) le long d'une route urbaine, à savoir, la route Kasapa située en pleine ville de Lubumbashi, dans la province du Haut Katanga, en République Démocratique du Congo.

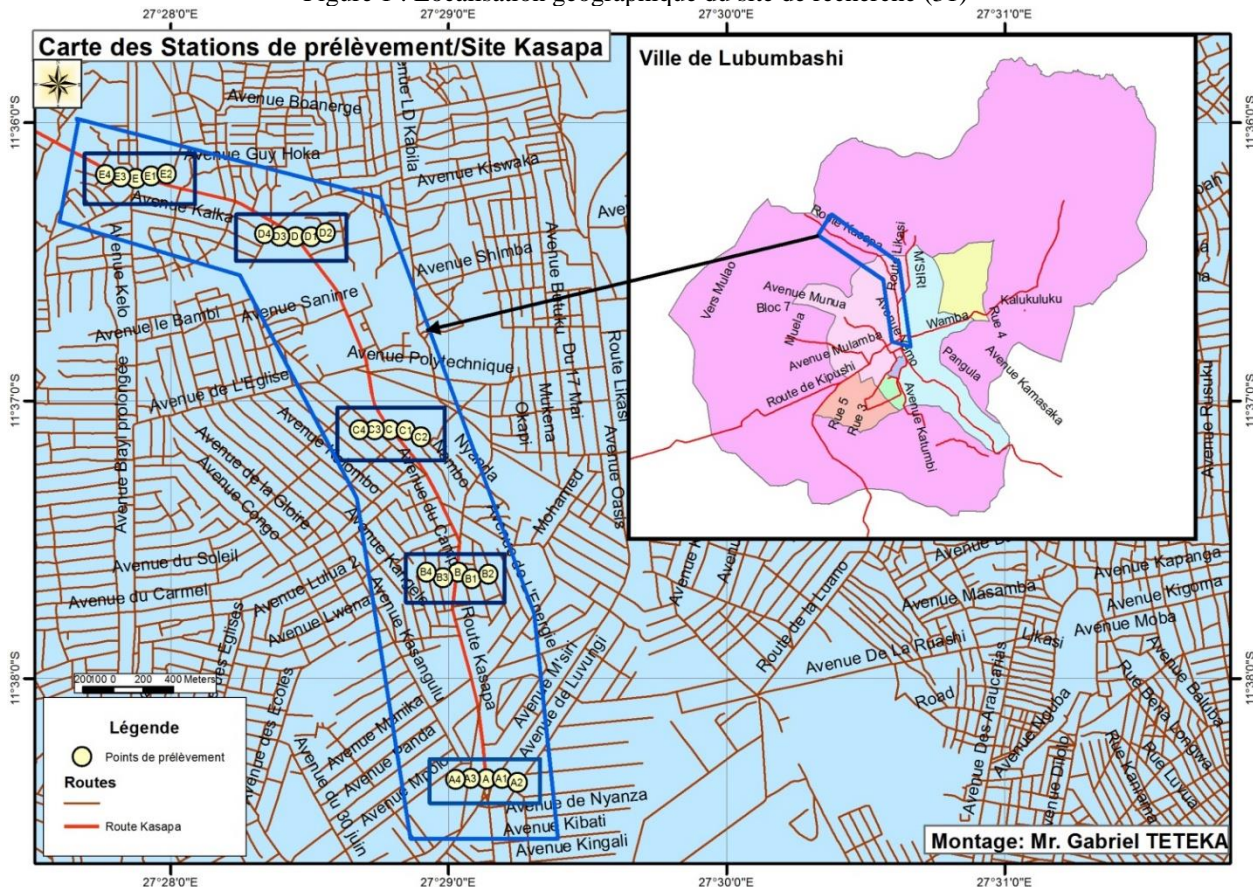
2 MATERIEL ET METHODE

Notre étude a été réalisée le long de la route Kasapa (Figure 1): Ce tronçon d'environ 5 km de long, caractérisé par un trafic routier intense, relie le centre-ville de Lubumbashi; les cités universitaires et d'autres nouveaux quartiers lushois en pleine expansion.

Les mesures des concentrations des PM ont été faites *in situ* à l'aide d'un détecteur des particules à rayon laser de type Temtop 200. Les dépôts atmosphériques solides ont été recueillis sur des plaquettes en verre placées sur des supports à une hauteur comprise entre 2,5 et 3 mètres par rapport au sol (1,29,30). Les mesures des concentrations des PM et l'échantillonnage des dépôts atmosphériques solides ont été effectués sur 25 points (colorés en jaune figure 1) (31), répartis en 5 stations de mesures (A, B, C, D, E). Pour chaque station, 1 site se trouvait à proximité immédiate de l'axe routier et les autres se situaient de part et d'autre de celui-ci à une distance de 100 et 200 mètres (1,2).

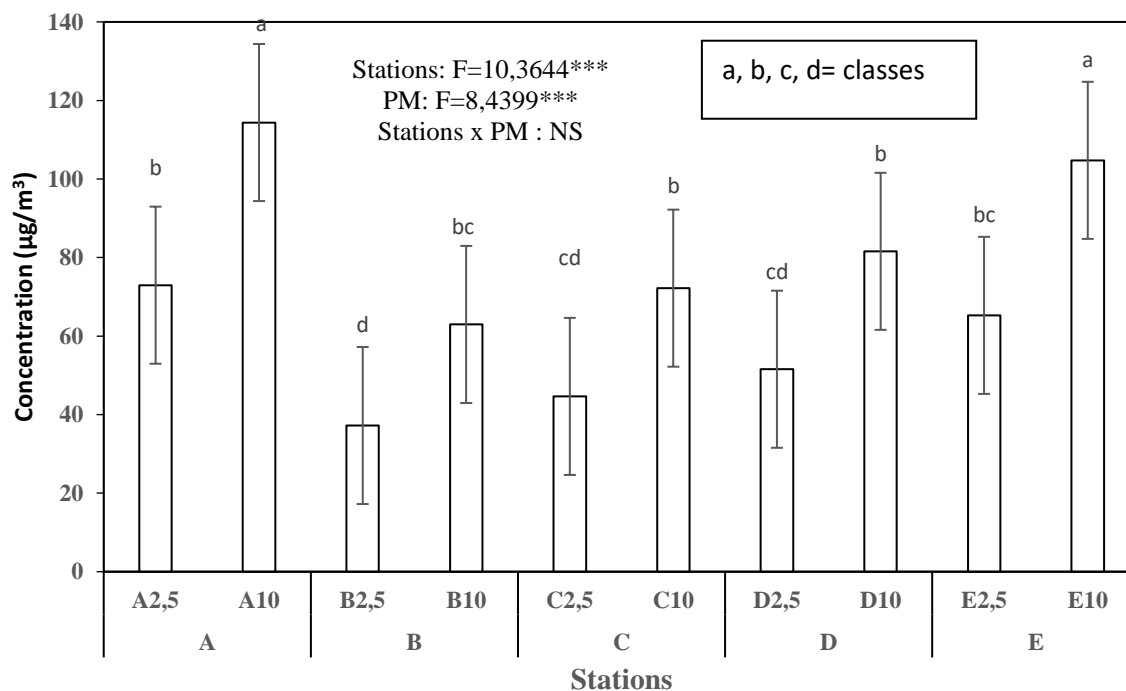
Les analyses chimiques effectuées par ICP (Inductively Coupled Plasma) sur les échantillons des dépôts atmosphériques solides; complétées par celles des échantillons des pneus et des plaquettes de freins prélevés sur les véhicules roulant fréquemment sur notre site d'étude, se sont concentrées sur le cuivre (Cu), le cadmium (Cd), le zinc (Zn), le Nickel (Ni) et le plomb (Pb) à l'exception du fer (Fe) qui n'a été analysé que dans les dépôts atmosphériques solides (5,32,33).

Figure 1 : Localisation géographique du site de recherche (31)



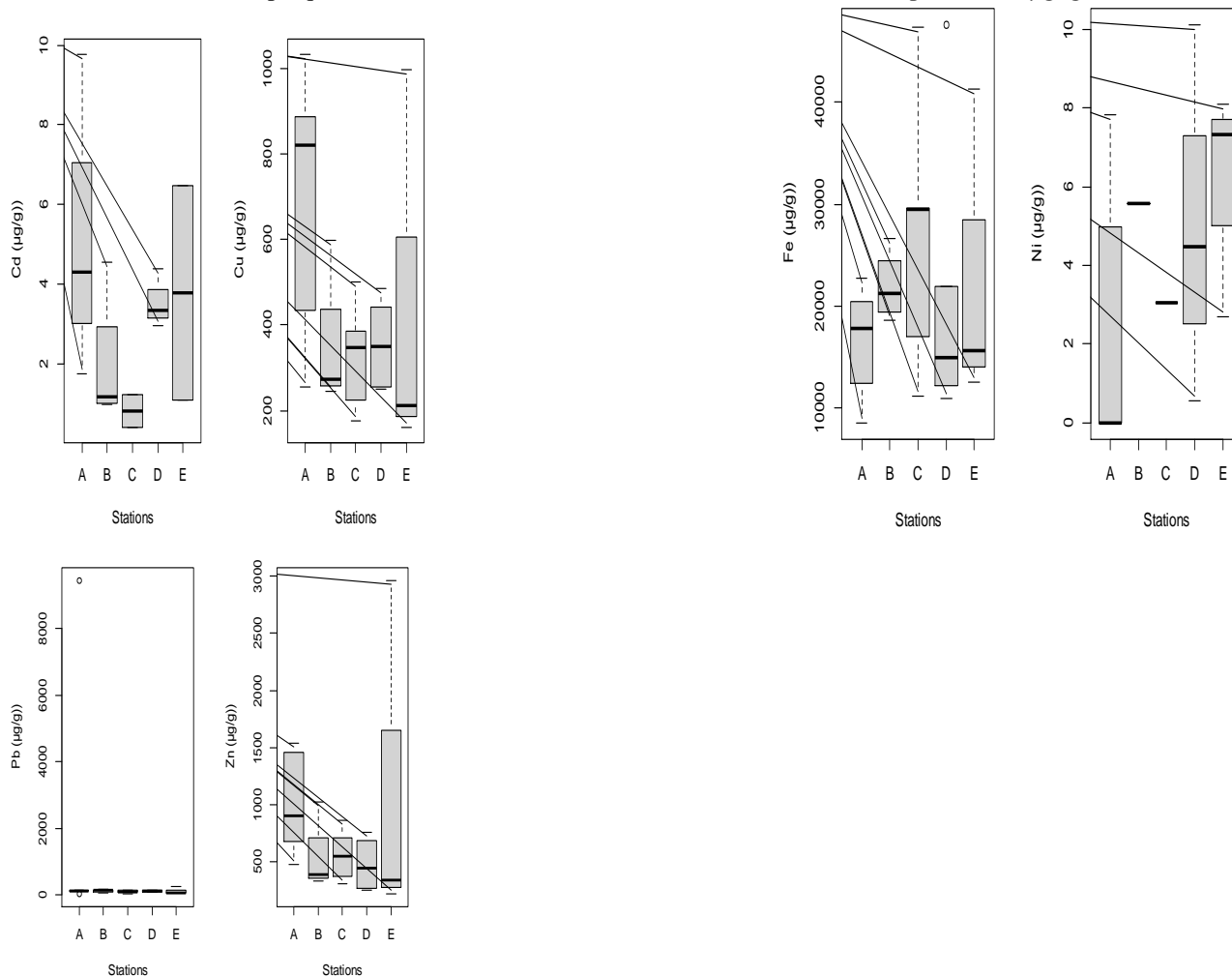
3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Graphique 1 : Variation de la concentration des PM par station en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Les résultats des mesures des PM (Graphique 1) révèlent une présence de ces polluants sur toutes les 5 stations A,B,C,D et E, les stations A et E ainsi que les points situés à proximité immédiate de la route ont enregistré des valeurs élevées comparativement aux autres stations et aux autres points éloignés de l'axe routier (Mohamed Naser et al., 2008). Cette situation serait due pour le premier cas au fait que comparativement aux autres stations, le trafic routier au niveau des stations A et E situées aux deux extrémités de la route Kasapa (Figure 1) est très intense avec la présence des carrefours (ADEME, 2018). Et pour le deuxième cas, lors du passage des véhicules; les émissions sont ressenties avec une grande intensité au niveau des points situés à proximité immédiate de l'axe routier contrairement à ceux qui lui sont éloignés (Karagulian et al., 2015 ; Depciuch et al., 2016).

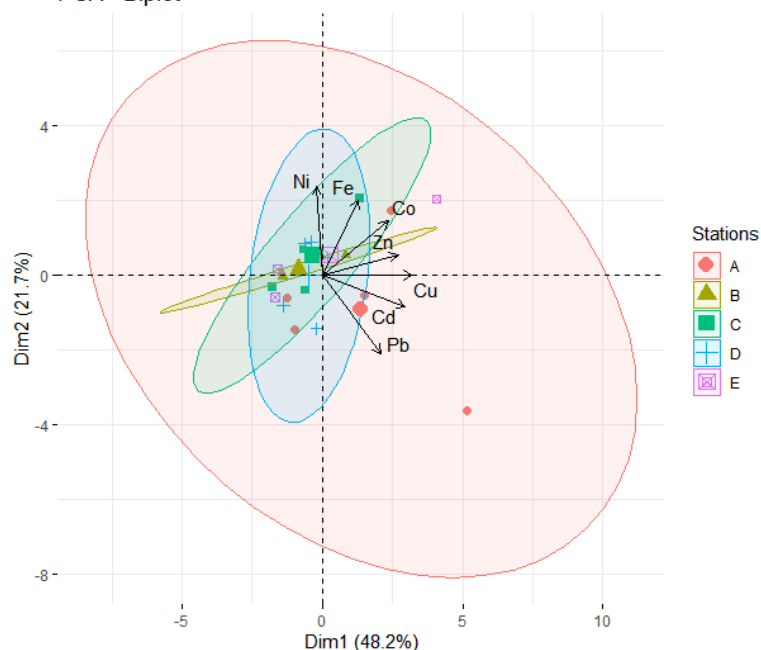
Graphiques 1: Concentrations des ETM sur différentes stations exprimées en $\mu\text{g/g}$



Les analyses faites sur les dépôts atmosphériques solides ont mis en évidence la présence du Cd, Ni, Cu, Fe, Zn et du Pb (**Graphiques 2**).

Comme pour les PM, ce sont les stations extrêmes et les points situés à proximité immédiate de l'axe routier qui ont enregistré des fortes concentrations (Choel et Visez, 2019). Cette situation confirme d'abord l'hypothèse selon laquelle la source d'émission de ces ETM est la même, ensuite elle met en lumière l'impact de l'émission que subit les points situés à proximité de l'axe routier et les stations situées au niveau des carrefours (V. Timmers et P. Achten.,2016; Airparif, 2008).

Graphique 3 : Analyse en composantes principales des ETM sur toutes les stations
PCA - Biplot



Le Graphique 3 montre une forte corrélation positive entre tous les ETM analysés dans les dépôts atmosphériques solides sur presque toutes les 5 stations A,B,C,D et E; il nous amène ainsi à confirmer que la source d’émission de ces ETM est la même.

Tableau 1: Les concentrations des ETM dans les plaquettes de freins exprimées en ppm

Véhicule	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Pb
Hiace	-7,038	108,2	10160	254,7	4206	464,1
Noha	0,008	65,2	7560	212,13	3889	512,26
Carina	55,73	319,8	17110	202,9	7957	814,6

Tableau 2 : Les concentrations des ETM dans les pneus exprimées en ppm

Véhicule	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Pb
Hiace	-44,22	799,3	732,2	97,82	12450	3231
Noha	-9,863	-12,83	1518	134,3	11130	170,9
Carina	1,271	267	839,8	109	10130	633,9

A l’issue de l’analyse des ETM à l’exception du Fer dans les pneus et dans plaquettes de freins (Tableaux 1et 2), les resultats ont montré la présence du Cd, Co, Cu, Ni, Zn et du Pb. Ceci est due à l’usage des métaux dans le processus d’élaboration tant des pneus que des plaquettes de freins (Erba et al., 2015), en même temps l’interprétation des graphiques 2 et 3 nous a permis de comprendre qu’il y a une même source d’émission pour tous les ETM, par conséquent cette source ne peut être que l’abrasion des pneus et l’usure des plaquettes de freins(30) (V. Timmers et P. Achten.,2016; Karagulian et al., 2015).

4 CONCLUSION

Notre travail a consisté en une étude de la variation des $PM_{2,5}$ et PM_{10} le long de la route Kasapa; étant donné l'importance des émissions hors échappement lors du trafic routier, le caractère toxique lié non seulement à la taille, mais aussi aux substances toxiques que ces PM peuvent véhiculer; nous avons jugé nécessaire de nous pencher aussi sur la variation de la concentration des ETM dans les dépôts atmosphériques solides le long de notre site de recherche, et sur l'analyse des ETM dans les pneus et les plaquettes de freins.

Les résultats des mesures des PM ont confirmé non seulement la présence de ces polluants le long du site, mais aussi le dépassement de leurs moyennes journalières par rapport au seuil de l'OMS fixé à $25 \mu g / m^3$ pour les $PM_{2,5}$ et $50 \mu g / m^3$ pour les PM_{10} . Au-delà de ce dépassement, des valeurs relativement élevées ont été retrouvées respectivement aux points situés à proximité immédiate de l'axe routier et au niveau des carrefours situés aux deux extrémités de la route; les stations dont font partie ces derniers points ont également enregistré des valeurs élevées en PM, tandis que les stations ainsi que les points éloignés des carrefours et de l'axe routier ont enregistré des valeurs relativement basses comparativement aux autres. Quant à l'analyse des ETM tant dans les dépôts atmosphériques solides, dans les pneus que dans les plaquettes de freins; les résultats ont montré une présence remarquable des ETM avec des fortes concentrations sur les points situés à proximité immédiate de la route et aux stations extrêmes, un comportement similaire à celui des PM, d'où le risque d'exposition accru pour la population dans cet environnement.

Les valeurs des concentrations élevées en PM et la présence des ETM dans les dépôts atmosphériques solides prélevés sur toutes les 5 stations nous ont permis de confirmer l'existence d'une même source d'émissions (véhicules lors de l'abrasion des pneus et de l'usure des plaquettes de freins) (V. Timmers et P. Achten.,2016). Ces résultats soulignent la pertinence de la problématique de la pollution atmosphérique hors échappement à Lubumbashi, et la nécessité pour notre étude d'avoir procédé à l'analyse des ETM dans les pneus et les plaquettes de freins (M' Maatoug et al., 2007 ; L. Ekengele Nga et al., 2016), cette démarche nous a permis de parvenir à élucider l'une des sources majeures d'émissions de ces polluants le long de la route Kasapa, si bien que d'autres sources pourraient exister comme nous l'avons évoqué.

BIBLIOGRAPHIE

1. Tasić M, Đurić-Stanojević B, Mijić Z, Rajšić S, Novaković V. Physico-Chemical Characterization of PM10 and PM2.5 in the Belgrade Urban Area. Serbia; 2006 p. 401-5. Report No.: 53.
2. Mohamed Naser T, Yoshimura Y, Sekiguchi K, Qingyue W, Sakamoto K. Chemical Composition of PM2.5 and PM10 and Associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons at a Roadside and an Urban Background Area in Saitama, Japan. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 2008;2-2:90-101.
3. Lazaro Mkoma S. Physico-Chemical Characterisation of Atmospheric Aerosols in Tanzania with Emphasis on Carbonaceous Aerosol Components and on Chemical Mass Closure. [Belgique]: Gent; 2008.
4. ADEME. Émissions de particules et de NOx par les véhicules routiers. ADEME; 2018.
5. Choel M, Visez N. Altération du grain de pollen par la pollution atmosphérique. *Rev Fr Allergol*. oct 2019;1,2,4.
6. Timmers V, Achten P. Émissions de particules hors échappement des véhicules électriques. *Atmospheric Environment*. juin 2016;134:10-7.
7. Airparif. Synthèse des connaissances sur les particules en suspension dans l'air et des travaux d'Airparif sur ces polluants. Airparif; 2008 p. 1-105.
8. Sun Z, Duan F, He K, Li H, Yang S, Yang L, et al. Physicochemical analysis of individual atmospheric fine particles. *Atmos Meas Tech*. 2017;1-13.
9. Yin H, Pizzol M, Bredhal Jacobsen J, Linyu X. Contingent valuation of health and mood impacts of PM2.5 Beijing China. *Science of the Total Environment*. 2018;(630 (2018) 1269–1282).
10. Zanatta M, Gysel M, Bukowiecki N, Muller T, Weingartner E, Areskoung H, et al. A European aerosol phenomenology-5 : Climatology of black carbon optical properties at regional background sites across Europe. 2016;346-64.
11. Crilley LR, Lucarelli F, Bloss WJ, Harisson RM, Beddows DC, Calsolai G, et al. Source apportionment of fine particles at roadside and urban background site in London during 2012 summer Clearflo campaign. 2017;766-78.
12. Mpoyo Kumwimba P-D, Dembo Emongo C, Muyumba Nonga W, Teteka Mutondo G, Nsenga Nkulu S, Zeka Mujinga L, et al. Fourth edition Young Researchers Overseas Day. In Bruxelles: Royal Academy for Overseas Sciences; 2020. p. 39-40.

13. Ozer P. Estimation de la pollution particulaire naturelle de l'air en 2003 à Niamey (Niger) à partir de données de visibilité horizontale. 2003;
14. Rakesh K, Abba E. Air pollution concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀ and NO₂ at ambient and kerbside and their correlation in metro city – mumbai. 2005;191-9.
15. USEPA. Air quality index. USEPA; 2014.
16. Cachon F. Étude de pollution atmosphérique en Afrique Sub-Saharienne: Cas de Cotonou (Bénin): Caractérisation physicochimique des matières particulaires d'origine urbaine et impact toxicologique sur des cellules épithéliales bronchiques humaines (BEAS-2B) cultivées in vitro. [Benin]: Université d'Abomey-Calavi; 2013.
17. Erba S, Escand-Viibois S, Fellingner F, Forray N, Legrand H, Pinet M. La gestion des pics de pollution de l'air. France: Gouvernement; 2015 juill p. 1-134. Report No.: 215-063.
18. Guégan H, Leminh Q, Patouille B, Bourquin P. Identification et quantification des contributions relatives des sources de poussières fines en milieu urbain. 2008;197-204.
19. Sylvestre A. Caractérisation de l'aérosol industriel et quantification de sa contribution aux PM 2.5 atmosphériques. [France]: Aix Marseille; 2016.
20. Redon N, Crunaire S, Herbin B, Morelle F, Gaie, Amodéo T. Faisabilité de la mise en œuvre d'un protocole pour l'évaluation en laboratoire de micro-capteurs pour la mesure des concentrations massiques particulaires. Lille: Labo Central de Surveillance de la Qualité de l'Air; 2018 p. 30.
21. Bahino J. Analyse de la qualité de l'air dans les zones urbaines en Afrique: caractérisation de la pollution gazeuse des espèces chimiques NO₂, SO₂, HNO₃, NH₃ et O₃ à Abidjan et Cotonou [Thèse de doctorat]. [Bamako]: Université Félix Houphouët-Boigny; 2018.
22. Katrien D, Anne C, Peter V. Les particules fines PM 10 et PM 2,5. Observatoire des données de l'environnement; 2009.
23. Rabah K, Oucher N, Bitouche` A, Berkouki N, Menouer B, Joumard R. Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger. In Alger: ENP; 2009. p. 31-40.
24. Tadjine A, Djebar H, Courtois A. Toxicité des poussières rejetées par le complexe sidérurgique d'Annaba sur quelques paramètres hématologiques du lapin Européen. Environnement, Risques et Santé. 2008;7(3):209-15.
25. OMS. Pollution de l'air et santé de l'enfant prescrire un air sain Résumé. Genève; 2018.

26. Wu X, C Nethery R, Sabath MB, Braun D, Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States A nationwide. TH Chan School of Public Health, Boston, MA, 02115, USA. 2020;1-36.
27. A. Zoran M, S. Savastru R, M. Savastru DM, N. Tautan Marina N. Assessing the relationship between surface levels of PM2.5 and PM10. Science of the Total Environment. 2 juin 2020;(738 (2020) 139825).
28. Jessiman B, Egyed M, Rouleau R, Donohue M, Blagden P, Lamy S. Les impacts sanitaires de la pollution de l'air au Canada : une estimation des décès prématurés. 2018;
29. Kaniki A, Kalonji R. Evaluation de la qualité de l'air sur le site d'exploitation de la STL. Lubumbashi: Bureau d'études EWES s.a.r.l.; 2016 nov p. 1-43.
30. Ferouz BMFE. Mesure des PM10 et de leurs teneurs métalliques dans la ville de Constantine. [Constantine]: Mentouri Constantine; 2012.
31. Prieto García F, Prieto Méndez J, Valdes Prado B, Aquino Torres E. Soil respiration and its relationship with litter contributions in a wooded mountain soil. South Florida Journal of Development. 2021;2(2):2382-97.
32. L. Ekengele Nga, S. Mabrey Sadjo, P. Zo' o Zame. Evaluation de la contamination métallique des sols exposés à l'incinération des pneus d'automobiles dans la ville de Ngaoundéré. Mater environ sci. 7 déc 2016;2028-2508:4633-45.
33. M'hamed Maatoug, Benchaaben Hellal, Abdelkader Dellal, Nadira Ayad, Mansour Boubatach. Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales bioaccumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu). Pollution atmosphérique. déc 2007;(196):385-94.