



ISSN Print: 2394-7500
 ISSN Online: 2394-5869
 Impact Factor: 5.2
 IJAR 2020; 6(8): 115-123
 www.allresearchjournal.com
 Received: 18-06-2020
 Accepted: 20-07-2020

Mondo Mapasi Theo

(1). Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kinshasa (ISTM/KIN), Section des Techniques de Laboratoire, B.P. 744 Kin XI, R.D Congo
 (2). Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences, Département des Sciences de l'Environnement, B.P. 190 Kin XI, R.D. Congo

Pwema Kiamfu Victor

Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences, Département de Biologie, Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, B.P. 190 Kin XI, R.D. Congo

Lusasi Swana Willy

Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences, Département de Biologie, Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, B.P. 190 Kin XI, R.D. Congo

Gizanga Valu René

Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences, Département des Sciences de l'Environnement, B.P. 190 Kin XI, R.D. Congo

Nsimanda Ipey camille

Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences, Département des Sciences de l'Environnement, B.P. 190 Kin XI, R.D. Congo.

Wafula Mifundu

Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences, Département de Physique, B.P. 190 Kin XI, R.D. Congo

Musibono Eyul'Anki Dieudonné

Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences, Département des Sciences de l'Environnement, B.P. 190 Kin XI, R.D. Congo

Correspondence Author:

Mondo Mapasi Theo

(1). Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kinshasa (ISTM/KIN), Section des Techniques de Laboratoire, B.P. 744 Kin XI
 (2). Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences, Département des Sciences de l'Environnement, R.D. Congo, B.P.190 Kin XI

Evaluation du profil métallique et biologique de la pollution de l'air atmosphérique dans la ville province de Kinshasa, République Démocratique du Congo

Mondo Mapasi Theo, Pwema Kiamfu Victor, Lusasi Swana Willy, Gizanga Valu René, Nsimanda Ipey camille, Wafula Mifundu et Musibono Eyul'Anki Dieudonné

Abstract

Atmospheric air quality was assessed in Kinshasa from August 2019 to March 2020 by analyzing rainwater and dust in the air to identify mineral and biological pollutants in five sites with high human concentration and motorized traffic (Rond-Point Victoire, Kingasani terminus, Super-Lemba, Limete 7^{ème} Rue, Avenue Nguma and the Bombo-Lumene hunting reserve). Rainwater and dust samples were collected from the roofs of houses and from the leaves of trees over 5 metres high. The concentrations of these pollutants were determined by molecular absorption spectrophotometry. The results obtained showed that the quality of the rainwater collected depends on the particles suspended in the atmosphere. Heavy metals: lead, cadmium and aluminium are present in rainwater in Kinshasa. In descending order of heavy metal concentrations in rainwater per site, we have : Rond-Point Victoire (Al: 43.63±0.75 ppb, Cd: 79.40±0.34 ppb, Pb: 84.88±5.47 ppb) > Kingasani terminus (Al: 44.48±2.5 ppb, Cd: 54.61±0.32 ppb, Pb: 78.93±2.6 ppb) > Limete 7^{ème} Rue (Al: 41.8±2 ppb, Cd: 43.49±2.82 ppb, Pb: 59.11±0.75 ppb) > Super-Lemba (Al: 35.01±4 ppb ; Cd: 40.31±3.74 ppb ; Pb: 49.63±3.3 ppb) > Nguma (Al: 17.13±1.7 ppb, Cd: 14.99±1.32 ppb, Pb: 20.80±1.37 ppb) > Bombo-Lumene (Al: 0.35±0.02 ppb, Cd: 0.42±0.01 ppb, Pb: 0.51±0.01 ppb). For dust, we have : Rond-Point Victoire (Al: 35.7±3.32 ppb, Cd: 69.2±2.69 ppb, Pb: 204.43±4.89 ppb) > Kingasani terminus (Al: 34.08±4.6 ppb, Cd: 66.84±3.63 ppb, Pb: 193.74±4.57 ppb) > Limete 7^{ème} Rue (Al: 23.56±0.51 ppb, Cd: 52.12±6.54 ppb, Pb: 137.45±3.64 ppb) > Super-Lemba (Al: 13.98±0.44 ppb, Cd: 31.96±2.71 ppb, Pb: 96.75±9.81 ppb) > Nguma (Al: 11.23±0.54 ppb, Cd: 46.88±0.85 ppb, Pb: 103.66±6.73 ppb) > Bombo-Lumene (Al: 0.71±0.15 ppb, Cd: 0.32±0.00 ppb, Pb: 1.07±0.1 ppb). The culture of dust in petri dishes revealed 20 plant species belonging to 14 families whose dissemination is through anemochemy and zoochory, which highlights biological pollution. It is necessary and urgent to develop the monitoring of air quality in Kinshasa.

Keywords: Kinshasa, Atmospheric pollution, Air quality, Heavy metals, rainwater, Dust

1. Introduction

La préservation de la qualité de l'atmosphère est devenue aujourd'hui un enjeu économique, juridique, sanitaire et environnemental planétaire. La qualité de l'air est un élément essentiel à la vie. Comme l'eau et la terre, l'air est vital (Vennin, 2000) [25]. La gestion de la pollution atmosphérique passe obligatoirement par une bonne connaissance du phénomène qui varie selon les régions et nécessite une collecte régulière des données. Ces données sont utilisées principalement pour mener des études, qui par la suite servent dans le domaine de la prévention et de la gestion des épisodes de pics de pollutions. Les données de qualité de l'air, sont le résultat d'un travail de collecte qui se fait en amont avec des équipes et des stations de mesures. Dans la grande majorité des pays industrialisés, des infrastructures de monitoring de la qualité de l'air existent (Fourn et Fayomi, 2006) [13].

Malheureusement, ceci n'est pas le cas dans la majorité des pays d'Afrique à l'exception du Sénégal, Afrique du Sud, Nigéria et Ghana. Dans certains pays, la pollution atmosphérique apparaît comme un problème de santé publique car les conséquences sanitaires de cette pollution suscitent actuellement des inquiétudes dans la population. Cependant, peu de données sont disponibles pour la sensibilisation et pour convaincre les autorités à mener des actions urgentes afin de freiner ce phénomène (Camara, 2014) [6].

La population de la ville de Kinshasa en République Démocratique du Congo est passée de 6.062.000 habitants en 2000 à 12.000.066 en 2015 pour une superficie de 10.000 km² (Muzito, 2005 ; Saint Moulin et Kalombo, 2005 ; Shomba *et al.*, 2015) [20, 23, 24]. Cette démographie galopante, l'expansion de la ville et les distances qui séparent les différentes communes nécessitent l'utilisation des moyens de déplacements automobile ou autres engins motorisés. Ainsi, le trafic automobile (circulation très dense en certains points du centre-ville et l'emploi généralisé des 2 roues), l'incinération des immondices, l'utilisation de bois ou charbon de bois pour la cuisine, la poussière des rues et des routes non asphaltées, la pollution artisanale et industrielle sont les principales causes de la pollution atmosphérique dans les grandes villes.

En République Démocratique du Congo en générale et à Kinshasa en particulier les études consacrées à l'évaluation

de la qualité de l'air sont fragmentaires et presque rares, hormis celle réalisée par Musibono *et al.*, (2009a) [18]. Pour pallier à ce vide, cette étude se propose d'évaluer le profil minéral et biologique de la pollution de l'air atmosphérique dans certains carrefours de la ville province de Kinshasa.

2. Milieu d'étude, matériel et méthodes

2.1. Cadre d'étude

L'évaluation de la qualité de l'air atmosphérique a eu lieu dans la ville province de Kinshasa dans six sites (figure 1) : Avenue Nguma (commune de Ngaliema), Rond-Point Victoire (commune de Kalamu), Super Lemba (commune de Lemba), Boulevard Lumumba au niveau de la 7^{ème} Rue (commune de Limete), Kingasani terminus (commune de Kimbanseke) et dans la réserve de chasse de Bombo-Lumene (commune de Maluku).

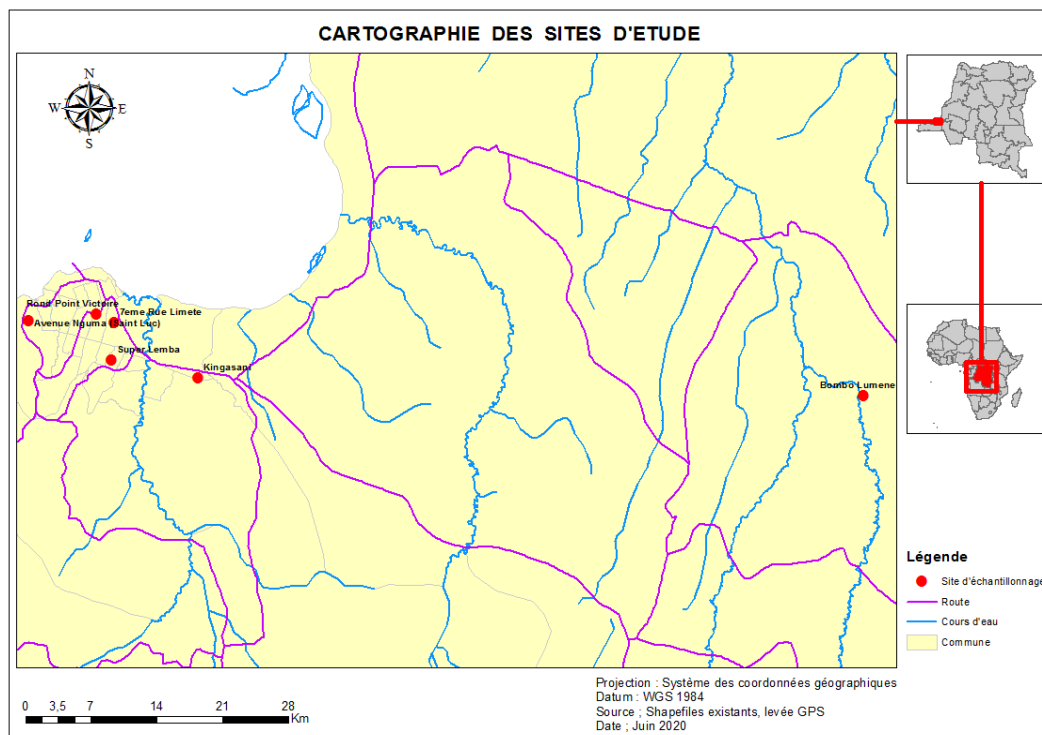


Fig 1: Carte de la ville de Kinshasa reprenant les sites d'étude

La ville de Kinshasa jouit d'un climat tropical de type AW₄ selon la classification de Köppen. La saison sèche très accentuée s'étend de fin mai à mi-septembre (Bultot et Griffiths, 1997) [5]. Selon ces derniers, ce climat est influencé par sa proximité avec l'océan Atlantique et particulièrement par les vents alizés du Sud-Ouest et le courant marin froid du Benguela. Les températures moyennes mensuelles de la ville de Kinshasa enregistrées à la station météorologique de Kinshasa ont oscillé entre 22,36 °C en juillet et 26,03 °C en mars. Les précipitations de Kinshasa pour la période allant de 2009 à 2019 ont oscillé entre 1.211,7 mm (en 2009) et 1898,5 mm (en 2019). L'humidité relative moyenne de l'air de la ville de Kinshasa est de 80% (Mbadu, 2011) [10]. En saison des pluies, elle est de 83,8 % la nuit et 74,7% le jour. En saison sèche, elle est de 94% la nuit et 62% le jour. En saison sèche, la région de Kinshasa est affectée par les alizés du sud dont la direction dominante est Ouest/Sud-Ouest. Alors qu'en saison des pluies, les vents soufflent dans la direction Est/Nord-Est, avec une vitesse annuelle moyenne inférieure à 3,5 m.s-1, tandis qu'en saison sèche, on

enregistre des vitesses fortes de vents, de plus de 3,5 m.s-1 (Bultot et Griffiths, 1977; Crabbe, 1975) [8].

2.2. Méthodologie

2.2.1. Echantillonnage des données

L'évaluation de la qualité de l'air atmosphérique dans la ville de Kinshasa a été faite à partir de l'analyse des échantillons d'eau des pluies et des poussières échantillonnées aux ronds-points et artères très fréquentés et à grandes circulations des engins motorisés. La récolte des échantillons d'eau a eu lieu au mois de Septembre et Décembre 2019 tandis que ceux des poussières ont été prélevés pendant les mois d'Août 2019 et Février 2020. Les échantillons d'eau de pluies étaient prélevés à l'aide de petits bocal placés à 5m au-dessus du sol à raison de trois prises par mois et par site. L'eau recueillie était bien conditionnée puis acheminée au laboratoire pour les analyses appropriées. Les échantillons des poussières étaient prélevés sur les toitures des maisons et sur les feuilles des arbres à au moins 5 m du sol chaque fois qu'elles étaient visibles.

2.2.2. Analyse des échantillons d'eau et des poussières

2.2.2.1. Préparation des échantillons d'eau de pluies

Les échantillons d'eau étaient traités séparément selon les sites d'étude. Le pH de l'eau de pluies a été déterminé à l'aide de la sonde multi-paramètres (pH-mètre) de marque HANNA pH/ORP/EC/DO N° HI 9828. 1 ml d'eau de pluies était placé dans un bécher de 100 ml auquel nous avons ajouté 30 ml de HCl (10%) couvert d'un verre de montre, chauffé à température douce pendant 30 min jusqu'à l'obtention d'une solution homogène. Le mélange est conservé dans un ballon jaugé de 100 ml avant l'analyse des métaux lourds.

2.2.2.2. Minéralisation des poussières

Un gramme (1g) de poussière de chaque échantillon était placé dans un bécher de 100 ml puis 30 ml de HCl (10%) y étaient ajoutés et couvert d'un verre de montre ensuite chauffé à ébullition douce pendant 30 minutes jusqu'à l'obtention d'une solution. Les précipités ont été mis de côté.

2.2.2.3. Dosage des métaux lourds dans les échantillons

Les concentrations de plomb (Pb), Cadmium (Cd) et aluminium (Al) étudiés dans les échantillons d'eau de pluies et des poussières, ont été déterminées par spectrophotométrie d'absorption moléculaire. Cette technique permet de déterminer la concentration d'une substance après l'absorption d'une radiation caractéristique de cette dernière. En effet, lorsqu'une solution est traversée par un flux lumineux, elle ne laisse passer qu'une fraction de la lumière incidente ainsi, l'absorption résultante est liée à la concentration du composé coloré.

L'analyse de plomb (Pb), Cadmium (Cd) et aluminium (Al) ainsi que la matière organique a été réalisé au Laboratoire de Centre de Recherche Géologique et Minière (CRGM).

2.2.2.5. Concentration en matière organique

La teneur en matière organique qui est une indication de la pollution biologique, mais aussi de l'anémochorie a été déterminée par incinération à 550 °C au four à moufle conformément à la méthode Dégrémont grâce au spectromètre DR2400 HACH (méthode HACH). L'anémochorie a été vérifiée par l'ensemencement des poussières dans des boîtes de pétri afin de déterminer les types de diaspores véhiculés par le vent.

2.3. Germination de diaspores contenues dans la poussière

Les diaspores invisibles contenues dans des poussières récoltées dans chaque site ont été ensemencées respectivement dans différentes boîtes de pétri. Les plantes ayant germées ont été transplantées au jardin expérimental du Département de Biologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa pour leur croissance avant l'identification.

2.4. Identification des espèces végétales contenues dans la poussière

Les espèces végétales ayant germées dans les boîtes de pétri ont été identifiées suivant le système de classification botanique APG III (1988) au laboratoire de systématique végétale (Herbarium) de l'INERA du Département de Biologie de la Faculté des Sciences, Université de Kinshasa.

2.5. Traitement des données

Les données récoltées ont été encodées sur le tableur Excel 2013 avant leur analyse. Les résultats obtenus ont été exprimés sous formes des graphiques et tableaux. La Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) basée sur la mesure des distances des similitudes entre les entités écologiques a été utilisée pour comparer les sites entre eux par rapport à la pollution atmosphérique (Kouamélan, 1999 ; Marshall et Elliott, 1997) [15, 17]. Le logiciel Past a été utilisé pour dresser le dendrogramme de similarité des sites d'étude.

3. Résultats

3.1. Variation du pH, de la teneur en Al, Cd et Pb de l'eau de pluies à Kinshasa

3.1.1. Variation du pH et teneurs en Al, Cd et Pb de l'eau de pluies durant le mois de Septembre

Le pH des échantillons d'eaux de pluies recueillies aux sites d'étude au mois de Septembre 2019 est resté acide et varie de $5,97 \pm 0,21$ (Kingasani) à $6,43 \pm 0,224$ (réserve de chasse de Bombo-Lumene). Les sites Victoire et Kingasani présentent des teneurs élevées en Plomb ($84,88 \pm 2,04$ ppb et $81,54 \pm 1,23$ ppb respectivement), Cadmium ($51,97 \pm 3,12$ ppb et $54,29 \pm 2,46$ ppb respectivement) et aluminium ($44,38 \pm 1,56$ ppb et $46,98 \pm 1,84$ ppb) que les autres sites. La réserve de chasse de Bombo-Lumene, considérée comme site témoin présente un pH très légèrement acide et des faibles concentrations des éléments dosés (figure 2).

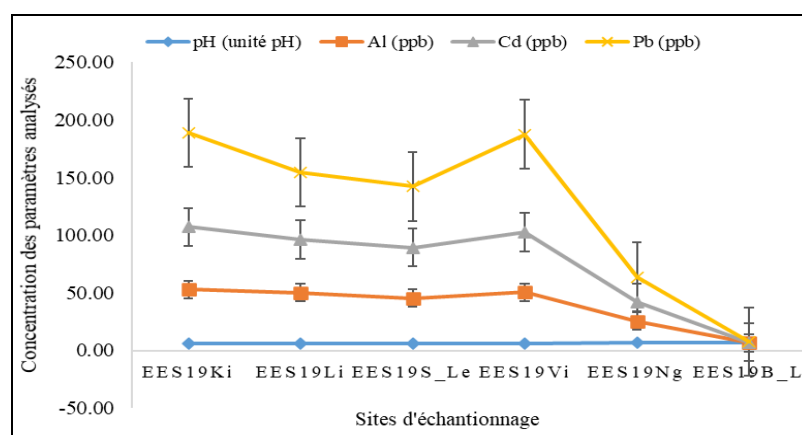


Fig 2: Variation situationnelles des paramètres physico-chimiques de l'eau de pluies durant le mois de Septembre 2019: ingasani (EES19Ki), Limete 7^{ème} Rue (EES19Li), Super-Lemba (EES19S_Le), Rond-Point Victoire (EES19Vi), Avenue Nguma (EES19Ng) et Reserve de chasse de Bombo-Lumene (EES19B_L)

3.1.2. Variation du pH et de la teneur en Al, Cd et Pb de l'eau de pluies durant le mois de Décembre

Les paramètres évalués dans les échantillons d'eau de pluies recueillies en décembre varient d'un site à l'autre. Les valeurs de pH observées varient de $6,10 \pm 0,32$ (à Kingasani) à $6,81 \pm 0,56$ (à la réserve de chasse de Bombo-Lumene). Les

concentrations des métaux lourds (Al, Cd et Pb) dosés sont supérieures dans les échantillons de Kingasani et Victoire par rapport aux autres sites. Les valeurs faibles en métaux lourds ont été observées dans les échantillons de Bombo-Lumene (figure 3).

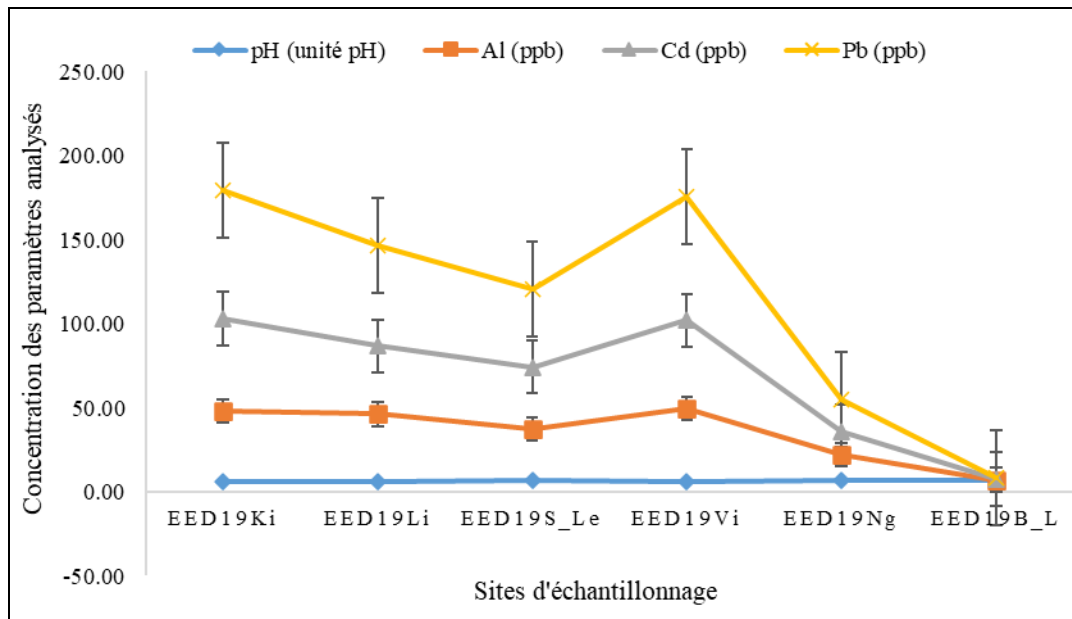


Fig 3: Paramètres physico-chimiques de l'eau de pluies durant le mois de Décembre 2019 : Kingasani (EED19Ki), Limete 7^{ème} Rue (EED19Li), Super-Lemba (EED19S_Le), Rond-Point Victoire (EED19Vi), Avenue Nguma (EED19Ng) et Reserve de chasse de Bombo-Lumene (EES19B_L)

3.2. Variation de la teneur en MO, Al, Cd et Pb dans la poussière

3.2.1. Teneur en MO, Al, Cd et Pb dans la poussière pendant du mois d'Août

Les concentrations en métaux lourds et en matière organique contenues dans les échantillons de poussière récoltés au mois d'Août 2019 à Kinshasa varient d'un site à un autre (figure 4). Le profil métallique en Aluminium, Cadmium et

Plomb est plus élevé dans les échantillons du Rond-Point Victoire et de Kingasani que les autres sites. La pollution organique est importante dans la poussière récoltée dans les deux sites précités (soit $3,82 \pm 0,34$ ppb et $3,91 \pm 0,29$ ppb respectivement). Bombo-Lumene présente des taux faibles en métaux lourds et en matière organique que les sites étudiés au centre-ville.

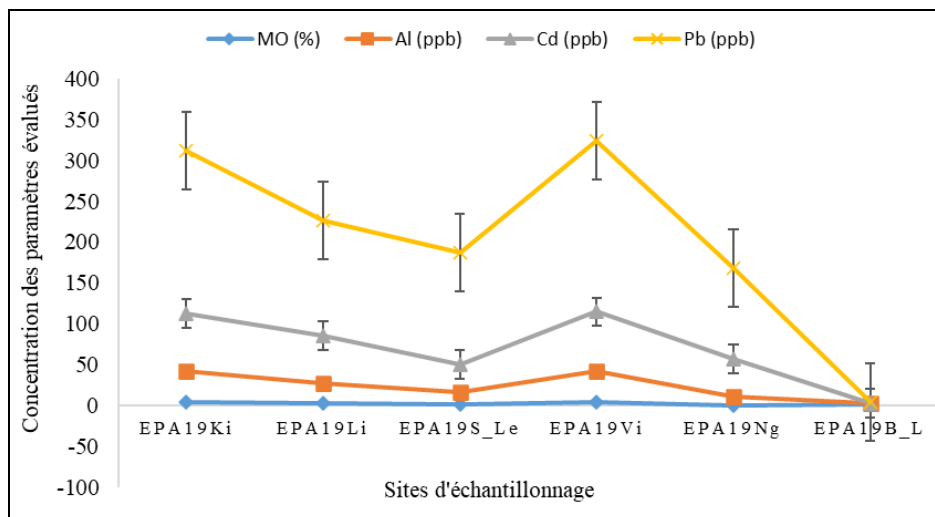


Fig 4: Teneur en MO, Al, Cd et Pb de poussière durant le mois d'Août 2019 : Kingasani (EPA19Ki), Limete 7^{ème} Rue (EPA19Li), Super-Lemba (EPA19S_Le), Rond-Point Victoire (EPA19Vi), Avenue Nguma (EPA19Ng) et Reserve de chasse de Bombo-Lumene (EPA19B_L)

3.2.2. Teneur en MO, Al, Cd et Pb dans la poussière en Février 2020

Une variation notable de la concentration en métaux lourds et en matière organique a été observée dans les poussières

prélevées à Kinshasa en février. La teneur la plus importante en matière organique a été observée dans la poussière récoltée à Victoire ($3,23 \pm 0,36$ ppb) et à Kingasani ($2,86 \pm 0,41$ ppb). Les valeurs les plus élevées en Aluminium,

Cadmium et Plomb sont relevés dans les échantillons de poussière récoltée dans les sites du centre-ville dont le Rond-Point Victoire et Kingasani. Par contre, les

concentrations en matière organique et métaux lourds analysés sont faibles dans la poussière récoltée à Bombo-Lumene (figure 5).

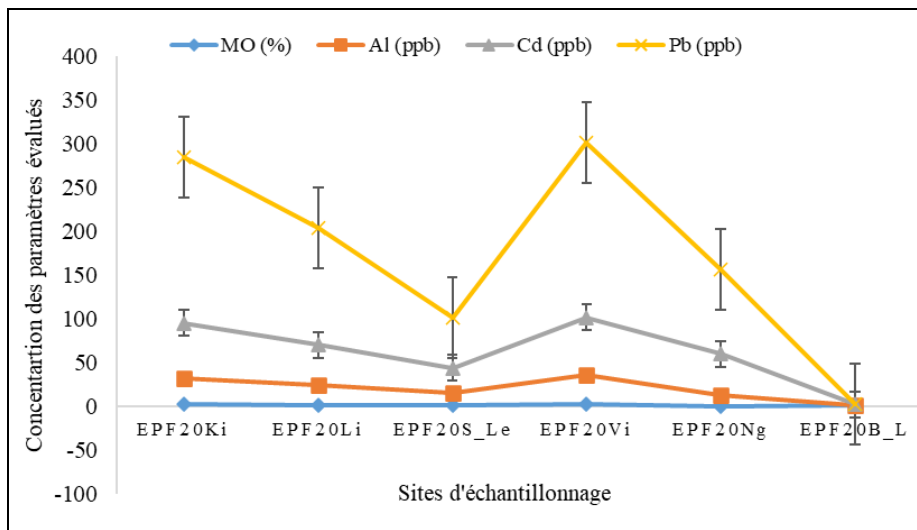


Fig 5: Teneur en MO, Al, Cd et Pb de poussière durant le mois de Février 2020 : Kingasani (EPF20Ki), Limete 7^{ème} Rue (EPF20Li), Super-Lemba (EPF20S_Le), Rond-Point Victoire (EPF20Vi), Avenue Nguma (EPF20Ng) et Réserve de chasse de Bombo-Lumene (EPF20B_L)

3.3. Analyse des regroupements des sites d'étude par rapport à la qualité de l'eau et de l'air

3.3.1. Echantillons d'eau de pluies des mois de Septembre et Décembre

L'analyse du dendrogramme de similarité ($r = 0,87$) résultant de la Classification Ascendante Hiérarchique des sites d'étude basé sur les concentrations des métaux lourds contenus dans les échantillons d'eau de pluies récoltés dans chacun d'eux durant les mois de Septembre et Décembre

2019 met en évidence deux grands groupes des sites (figure 6). L'avenue Nguma dans le quartier Ma Campagne et la réserve de chasse de Bombo-Lumene forment le premier groupe ($d = 42$) tandis que le Rond-Point Victoire, Kingasani, Limete 7^{ème} Rue et Super-Lemba forment le deuxième groupe ($d = 40$) qui, est à son tour scindé en deux sous-groupes : Rond-Point Victoire et Kingasani d'un côté ($d = 6$) et Limete 7^{ème} Rue et Super-Lemba de l'autre ($d = 18$).

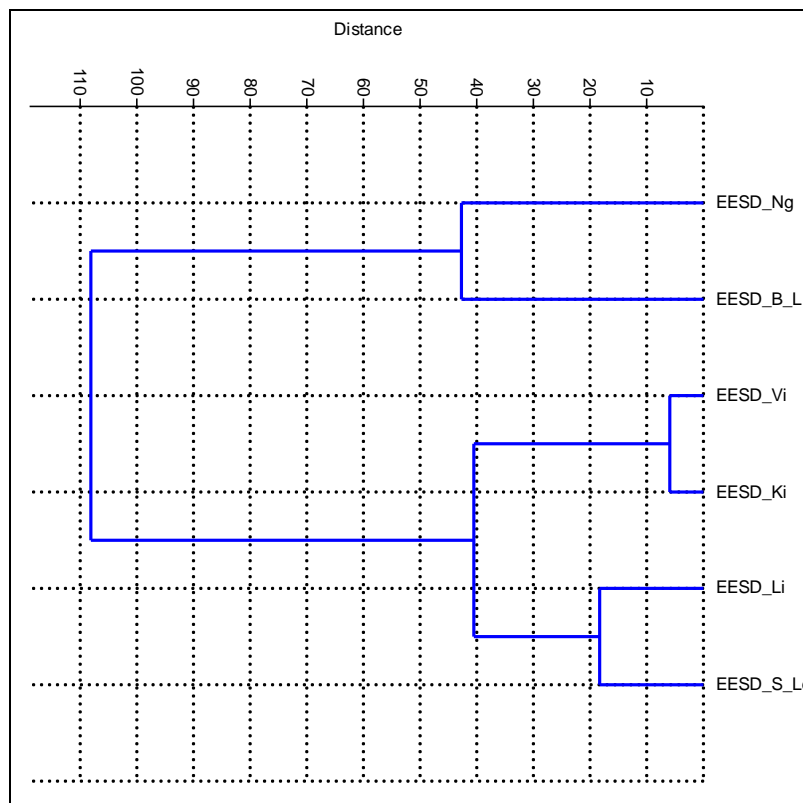


Fig 6: Regroupement des sites étudiés sur base des échantillons d'eau de pluies des mois de Septembre et Décembre 2019 : Ng (avenue Nguma), B_L (réserve de chasse de Bombo-Lumene), Vi (Rond-Point Victoire), Ki (Kingasani), Li (Limete 7^{ème} Rue) et S_Le (Super-Lemba).

3.3.2. Echantillons de poussière des mois d'Août et Février

Le dendrogramme de similarité des sites ($r=0,84$) établis en fonction des concentrations des métaux lourds contenues dans les échantillons de poussière récoltés durant les mois d'Août 2019 et Février 2020 indique deux grands groupes des sites (figure 7). La réserve de chasse de Bombo-Lumene forme seule le premier groupe ($d=220$) tandis que le

deuxième est formé des sites de Rond-Point Ngaba, Kingasani, Super-Lemba, Avenue Nguma et Limete 7^{ème} Rue. Le deuxième groupe est à son tour subdivisé en trois sous-groupes : Rond-point Victoire et Kingasani forment le premier sous groupe ($d=20$), Super-Lemba et avenue Nguma forment le deuxième sous groupe ($d=50$) et Limete 7^{ème} Rue forme seul le troisième sous groupe ($d=70$).

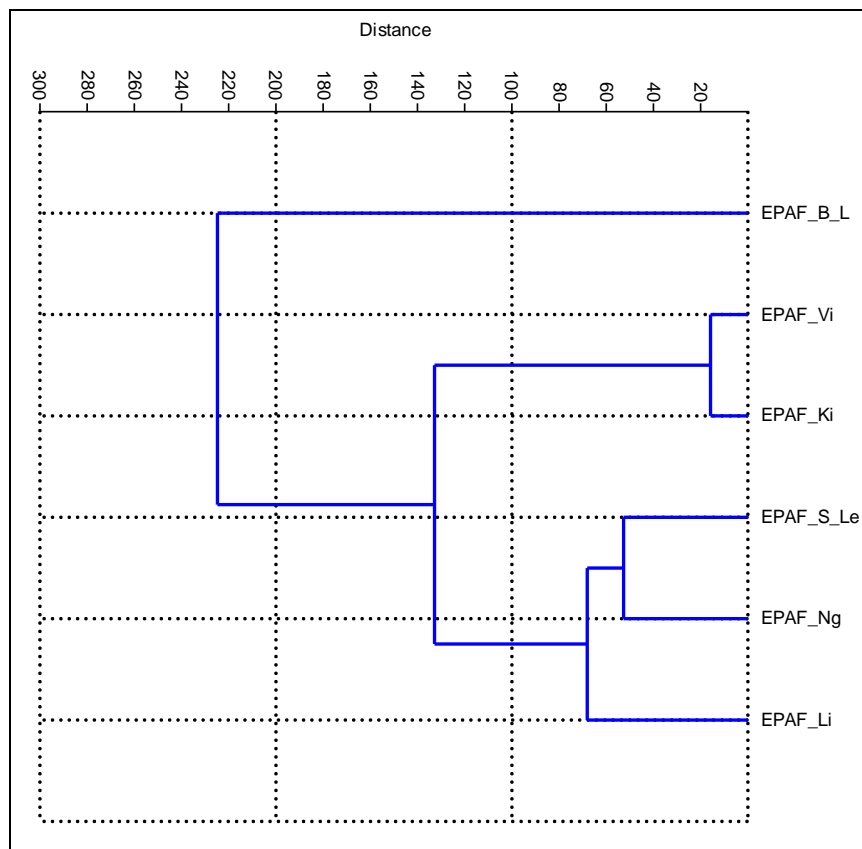


Fig 7 : Regroupement des sites étudiés sur base des échantillons de poussière des mois d'Août 2019 et Février 2020 : B_L (réserve de chasse de Bombo-Lumene), Vi (Rond-Point Victoire), Ki (Kingasani), S_Le (Super-Lemba), Ng (avenue Nguma) et Li (Limete 7^{ème} Rue)

3.4. Diaspores des espèces végétales contenus dans les échantillons de poussières

Les diaspores des différentes espèces végétales contenus dans les échantillons de poussière qui ont germé dans les boîtes de pétri sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Diaspores des espèces végétales ayant germés dans les boîtes de pétri (Kin : Kingasani ; L7 : Limeté 7^{ème} Rue ; S.L : Super Lemba ; RV : Rond-Point Victoire ; A.N : Avenue Nguma ; B.L : Bombo-lumene ; + : présence et - : absence)

Famille	Espèce	Sites d'étude					
		Kin	L7	S.L	RV	A.N	B.L
Asteraceae	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R. King & H. Robinson	+	+	+	+	+	+
	<i>Emilia coccinea</i> (Sims) G. Don	-	-	-	+	-	-
	<i>Tridax procumbens</i> L.	-	-	-	-	+	-
Fabaceae	<i>Acacia auriculiformis</i> (A. Cum. Ex Benth.)	-	+	-	-	-	+
Mirthaceae	<i>Eucalyptus citriodora</i> Hook	-	-	-	-	-	+
Poaceae	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	-	-	-	+	+	-
	<i>Hyparrhenia diplandra</i> (Hack.) Stapf	-	-	-	-	-	+
	<i>Panicum sp</i>	-	-	-	+	-	-
	<i>Digitaria polybotria</i> Stapf	+	-	-	-	-	+
Thalinaceae	<i>Talinum triangulare</i> (Jacq.) Wild	-	+	-	-	+	-
Cyperaceae	<i>Cyperus distans</i> L.f	+	-	-	-	-	-
Brassicaceae	<i>Laportea aestuans</i> (L.) Chew	-	+	+	+	+	-
Urticaceae	<i>Commelina diffusa</i> Burn.f.	-	-	+	-	-	-
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus sp</i>	-	-	-	-	+	-
Euphorbiaceae	<i>Croton hirtus</i> l'Hérit.	-	-	+	+	-	+
Rubiaceae	<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	-	+	-	-	-	-
Piperaceae	<i>Peperomia pellucida</i> (L.) H.B. & K.	-	+	-	-	-	-

Moraceae	<i>Ficus sp</i>	-	-	-	-	-	+
Polypodiaceae	<i>Platynerium elephantotis</i> Schweinf.	-	-	-	-	-	+
	<i>Drymaria laurentii</i> (Christ.) Hier.	-	-	-	-	+	+
14	20	3+	6+	4+	6+	7+	9+

Vingt (20) espèces de plantes appartenant à 14 familles ont germées dans la poussière récoltée sur les toits des maisons dans six sites d'échantillonnage à Kinshasa. Dans la poussière émanant de Kingasani, 3 espèces végétales ont germées, 6 ont germées dans la poussière récoltée à Limete 7^{ème} Rue, 4 à Super-Lemba, 6 au Rond-Point Victoire, 7 sur l'Avenue Nguma et 9 autres à la réserve de chasse de Bombo-Lumene. Les familles les plus représentées sont les

Poaceae (4 espèces), Astéraceae (3 espèces) et Polypodiaceae (2 espèces). *Chromolaena odorata* est l'espèce ubiquiste retrouvée dans tous les sites étudiés. Les autres espèces ne sont retrouvées que dans un seul site. Les proportions des familles auxquelles appartiennent les espèces végétales ayant germées dans les boîtes de pétri sont visualisées sur la figure 8.

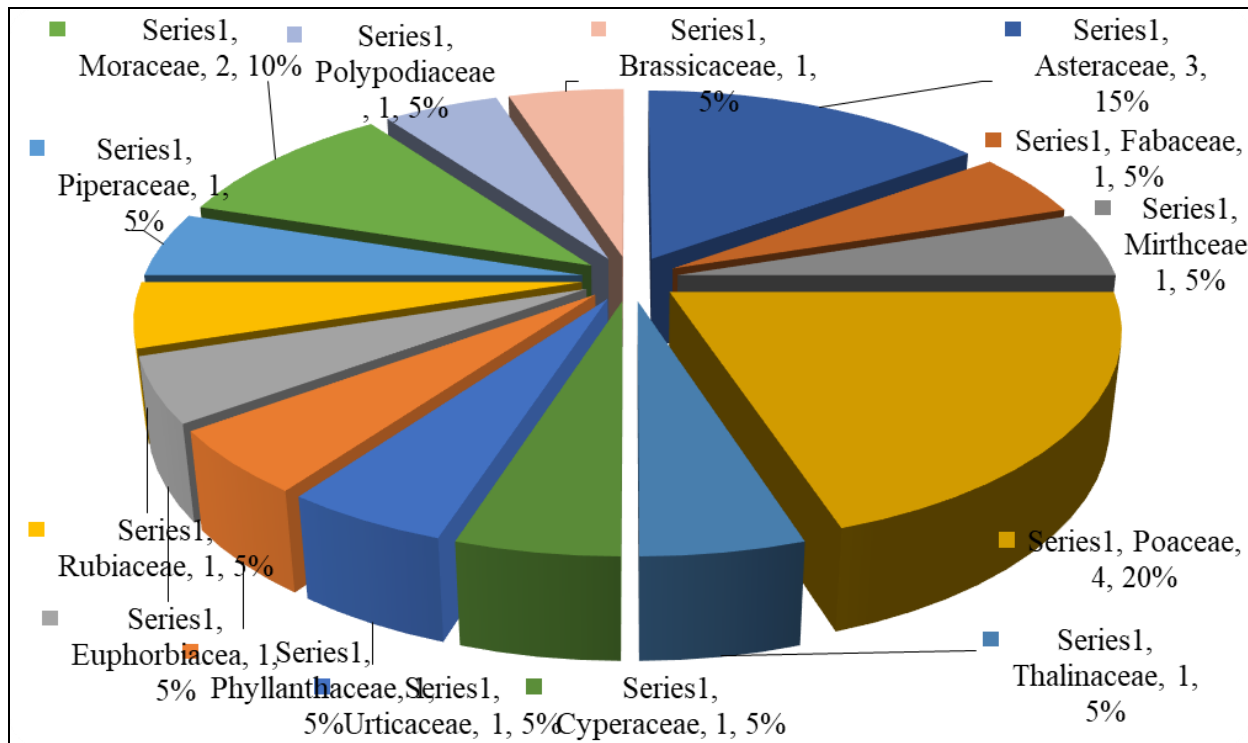


Fig 8: Abondance relative des espèces végétales par famille botanique inventoriée

4. Discussion

Les analyses des eaux de pluies prélevées dans quelques grandes artères et carrefours de la ville province de Kinshasa ont révélées la présence des métaux lourds (aluminium, cadmium et plomb). Les échantillons recueillis au Rond-Point Victoire et Kingasani ont présenté des concentrations moyennes élevées en Pb (79,40±5,47 ppb et 78,93±2,60 ppb respectivement), en Cd (respectivement 69,2±2,69 ppb et 54,61±0,3 ppb) et en Al (35,7±3,32 ppb et 44,48±2,5 ppb) que ceux provenant des sites de Limete 7^{ème} Rue, Super-Lemba et avenue Nguma. Quant aux échantillons d'eau récoltés dans la réserve de chasse de Bombo-Lumene, la teneur de ces trois éléments ont été faibles (Pb : 0,51±0,01 ppb, Cd : 0,42±0,01 et al : 0,35±0,02 ppb). L'analyse du potentiel hydrogène (pH) des eaux a montré que les pluies qui sont tombées durant les mois de Septembre et Décembre 2019 à Kinshasa étaient légèrement acides (pH moyen : 6,35±0,17 pour les échantillons des sites du centre-ville et 6,62±0,18 pour le site de Bombo-Lumene). La différence de l'acidité de pluies observée sur les sites du centre-ville est dû à la forte concentration des activités anthropiques notamment les installations des usines qui libèrent les composés volatiles tels que : SO₂, SO₃, HCl, CO₂, etc. à fortes productions des composés chimiques. Ces

résultats corroborent avec les observations faites par Feltn, (2003) et (Environnement Canada, 2018). Par contre, les pluies moins acides observées dans la réserve de chasse de Bombo-Lumene seraient la conséquence de son éloignement du centre-ville Kinshasa, l'absence des activités industrielles et la faible circulation des engins motorisés. D'après CHMI (2003) [7], les pluies acides résultent essentiellement de la pollution de l'air par le dioxyde de soufre (SO₂) produit par l'usage de combustibles fossiles riches en soufre, ainsi que des oxydes d'azote (NO et NO₂) qui se forment lors de toute combustion de l'atmosphère, produisant de l'acide nitrique. Les échantillons de poussière récoltée aux mois d'Août 2019 et Février 2020 puis analysés ont présenté de concentrations variables d'un site à un autre. Celles prélevées au Rond-Point Victoire (Pb : 204,43±4,49 ppb ; Cd : 69,2±2,69 ppb et al : 35,7±3,32 ppb) et à Kingasani (Pb : 193,74±4,57 ppb ; Cd : 64,84±3,63 ppb et al : 34,08±4,6 ppb) ont révélé une concentration moyenne élevée en métaux lourds que celles des autres sites du centre-ville. Ces valeurs étaient également supérieures à celles observées dans les poussières prélevées dans la réserve de Bombo-Lumene (Pb : 1,07±0,1 ppb, Cd : 0,32±0,00 ppb et al : 0,71±0,15 ppb), considéré comme site témoin. La ville de Kinshasa, compte près de 13 millions

d'habitants et, est la deuxième ville la plus peuplée d'Afrique, après le Caire (Lusasi *et al.*, 2020). Les distances à parcourir d'un point à un autre ou d'une commune à une autre pousse la population à utiliser des engins motorisés pour leur déplacement. Comme plusieurs capitales des pays d'Afrique Sub-saharienne, la ville subit le phénomène des vieilles voitures thermiques importées et retirées de la circulation dans les pays développés (Fourn et Fayomi, 2006 ; Demay, 2011) [13, 10]. La remise en circulation de ces engins est considérée comme cause majeure de la pollution atmosphérique de l'air à Kinshasa due au dégagement de CO₂, à l'usure des pneus, des freins et de la chaussée (Musibono *et al.*, 2009a ; Bihouix et Guillebon, 2010 ; Camara, 2014) [18, 6]. OMS (2016) [21] indique que, c'est principalement dans les villes de plus de 100.000 habitants que la pollution de l'air a augmenté de 8%, durant les 5 dernières années en Afrique. L'autre source de la pollution de l'air atmosphérique est la contrebande des hydrocarbures de mauvaise qualité qui, accentue la présence de métaux lourds dans les écosystèmes aquatique et terrestre (Musibono *et al.*, 2009b) [19]. Les générateurs électriques qui sont une alternative aux coupures intempestives d'électricité et au délestage permanent contribuent également à polluer la ville (OMS, 2016) [21].

La Classification Ascendante Hiérarchique a été appliquée aux données relatives aux métaux lourds contenus dans l'eau et dans la poussière pour regrouper les sites par rapport à la qualité de l'air atmosphérique qui y circule. Le dendrogramme de similarité ($r = 0,87$) basée sur les concentrations en métaux lourds contenus dans l'eau de pluies a mis en évidence deux grands groupes des sites. Le premier groupe ($d = 42$) était formé de l'avenue Nguma et la réserve de chasse de Bombo-Lumene. Le deuxième groupe ($d = 40$) était formé du Rond-Point Victoire, Kingasani, Limete 7^{ème} Rue et Super-Lemba. Par contre, le dendrogramme de similarité des sites ($r = 0,84$) établis en fonction des échantillons de poussière récoltés durant les mois d'Août 2019 et Février 2020 avait également mis en évidence deux grands groupes des sites : la réserve de chasse de Bombo-Lumene (site témoin) qui a formé un groupe à part. Le deuxième groupe était composé des sites : Rond-Point Victoire, Kingasani, Super-Lemba, l'avenue Nguma et Limete 7^{ème} Rue. Ces résultats indiquent que l'air qui circule dans la réserve de chasse de Bombo-Lumene est moins chargée en Pb, Cd *et al* que ceux du centre-ville (Kingasani, Super-Lemba, Limete 7^{ème} Rue, Rond-Point Victoire et l'avenue Nguma). Dans une étude consacrée à la pollution de l'air à Kinshasa en R.D Congo, Musibono *et al.*, (2009a) [18] ont fait remarquer que les zones à faible circulation automobile où, la concentration des activités anthropiques est moindre disposent d'une bonne qualité de l'air atmosphérique, ce qui est le cas de Bombo-Lumene.. Ces observations se rapprochent aussi de celles faites par OMS (2016) [21], qui soutiennent que la diminution des arbres dans la ceinture de Kinshasa et Lubumbashi aggraverait la détérioration de la qualité de l'air.

Les plantes peuvent compter sur différents vecteurs de dispersion de leurs diaspores. D'une part, ces vecteurs peuvent être de nature abiotiques, tel que l'eau (hydrochorie), le vent (anémochorie) ou encore la gravité (barochorie) (Parolin *et al.*, 2013) [22]. D'autre part, les vecteurs biotiques qui sont généralement les animaux (zoochorie) qui transportent les graines, soit sur leur pelage ou plumage (epizoochorie), soit en ingérant les graines

(endozoochorie) ou encore lorsque l'animal va volontairement cacher des graines en espérant les consommer ultérieurement (synzoochorie) (Gómez *et al.*, 2019) [14]. Le transport de graines ou dissémination par le vent ou anémochorie est plus fréquente chez les espèces herbacées. Parmi les caractéristiques morphologiques favorables à l'anémochorie, la petitesse et la légèreté des semences et des germes. La plupart des plantes inventoriées dans cette étude appartiennent au groupe des herbacés (*Digitaria sp.*, *Croton hirtus*, *Tridax sp.*, *Panicum sp.*). Selon Musibono *et al.*, (2009a) [18] les graminées constituent la majorité des espèces végétales contenues dans la poussière qui circule à Kinshasa. Les oiseaux jouent un rôle majeur dans la dispersion des diaspores de nombreuses espèces végétales (Barnea *et al.*, 1992) [2]. C'est le cas des passereaux qui se nourrissent des graines de *Panicum maximum* assurent sa dispersion. L'anémochorie et la zoochorie expliquerait que la dispersion des gènes de *Panicum maximum*, *Chromolaena odorata*, *Cyperus sp.*, *Chaetocarpus africanus*, *Cleome rutidosperma*, *Tridax procumbens*, *Phyllanthus niruri*, *Emilia coccinea*, *Ageratum conyzoides* etc se fait sur de longues distances, allant de 1 à 7,1 km et pouvant atteindre 40 km dans des habitats plus ouverts que ceux des forêts tropicales (Bizoux *et al.*, 2009) [4]. Les observations soulevées ci-dessus confirment nos résultats sur la pollution biologique liée à la présence des diaspores dans les échantillons de poussière récoltés à Kinshasa.

5. Conclusion

Cette étude était consacrée à l'évaluation du profil métallique et biologique de la pollution de l'air à Kinshasa. Les échantillons d'eau de pluies et de poussière destinés aux analyses ont été prélevés dans six sites : Kingasani, Limete 7^{ème} Rue, Super-Lemba, Rond-Point Victoire et avenue Nguma ainsi que dans réserve de Bombo-Lumene. Les teneurs en métaux lourds déterminées par spectrométrie d'absorption moléculaire dans les échantillons ont montré que la qualité de l'eau de pluies dépend de celle de l'atmosphère. Les métaux lourds (plomb, cadmium *et aluminium*) sont présents dans la poussière et dans l'eau de pluies à Kinshasa. Par ordre décroissant de la pollution en métaux lourds aussi bien dans la poussière que dans l'eau de pluie, on a : Rond-Point Victoire > Kingasani > Limete 7^{ème} Rue > Super-Lemba > Nguma > Bombo-Lumene. La culture sur les boîtes de pétri des diaspores contenues dans la poussière prélevées sur les toits des maisons a mis en évidence 20 espèces de plantes appartenant à 14 familles dont la dissémination se fait par le vent (anémochorie) et la zoochorie, donc une pollution biologique. Ces résultats montrent à suffisance que la qualité de l'air qui circule à Kinshasa varie d'un site à l'autre.

6. Remerciements

Nous remercions les responsables du Laboratoire de CRGM pour les analyses des échantillons d'eau et de poussière ainsi que les autorités et tout le personnel de l'ICCN pour nous avoir facilité l'accès dans la réserve de chasse de Bombo-Lumene.

7. Références

1. APG III. Angiosperms phylogeny GROUP. An ordinal classification of families of flowering plants. *Ann.*

- Missouri Bot. Gard.* 1988; (85):521-553. *Original UREL*. <http://www.systbot.uu.se/classification/APG>
2. Barnea A, Yom-Tom Y, Friedman J. Effect of frugivorous birds on seed dispersal and germination of multi-seeded fruits. *Acta oecologica*. 1992; (13):209-219.
 3. Bihouix P, De Guillebon B. Quel futur pour les métaux ? EDP Sciences, Centre national du livre. 2010, 68.
 4. Bizoux JP, Daïnou K, Bourland N, Hardy OJ, Heuertz M, Mahy G, Doucet JL. Spatial genetic structure in *Milicia excelsa* (Moraceae) indicates extensive gene dispersal in a low-density wind-pollinated tropical tree. *Mol. Ecol.* 2009; 18(21):4398-4408.
 5. Bultot F, Griffiths JF. The equatorial wet zone. In : Griffiths JF (ed) *Climates of Africa*. World Survey of Climatology. Elsevier publishing company, Amsterdam-London-New York, 1997; 10:451-456.
 6. Camara FS. Question de la pollution atmosphérique en Afrique sub-saharienne (Transports) : Etat des lieux des réseaux de surveillance. Mémoire de Master I, Université de Bourgogne. 2014, 35.
 7. CHMI. Air pollution in the Czech Republic in Czech Hydrometeorological Institute, Air Quality Protection Division. 2003. Disponible sur, 2003 <http://www.chmi.cz/uoco/isko/groce/gr03e/akap3.html>. Consulté le 20/06/2020
 8. Crabbe M. Le climat de Kinshasa. Centre de documentation agricole du département de l'agriculture, Kinshasa. 1975, 37.
 9. De Saint Moulin L. Atlas de l'organisation administrative de la République Démocratique du Congo. Ed. Centre d'Etudes Pour l'Action Sociale (CEPAS), Kinshasa. 2005, 235.
 10. Demay. La pollution de l'air à Dakar, Sénégal. Mémoire de Master I de Géographie. Université de Bourgogne. 2011, 69.
 11. Environnement Canada. Les pluies acides et leurs causes. 2018. Disponible sur <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/enjeux/pluies-acides-causes-effets.html>. Consulté le 20/06/2020
 12. Felten V. Effets de l'acidification des ruisseaux vosgiens sur la biologie, l'écologie et l'écophysologie de *Gammarus fossarum* Koch, 1835 (Crustacea, Amphipoda) : Approche intégrée à différents niveaux d'organisation. Thèse de doctorat, Metz. 2003, 231.
 13. Fourn L, Fayomi EB. Pollution atmosphérique en milieu urbain à Cotonou et à Lokossa, Bénin. *Bulletin de la société pathologique exotique*. 2006; 99(4):264-268.
 14. Gómez JM, Schupp EW, Jordano P. Synzoochory: the ecological and evolutionary relevance of a dual interaction. *Biol. Rev.* 2019; 94(3):874-902. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-rising/fr/>
 15. Kouamélan EP. L'effet du lac de barrage Ayamé (Côte d'Ivoire) sur la distribution et l'écologie alimentaire des poissons Mormyridae (Teleostei, Ostéoglossiformes). Thèse de doctorat, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique. 1999, 221.
 16. Lusasi SW, Manza RK, Bipendu MN, Kavumbu MS, Munganga KC, Gafuene NG *et al.* Analysis of the ichthyological composition of smoked fish sold in the Liberté and Gambela markets in Kinshasa, Democratic Republic of Congo. *Agriculture Science*. 2020; 2(2):69-79. <https://doi.org/10.30560/as.v2n2p69>
 17. Marshall S, Elliott M. A comparison of univariate and multivariate numerical and graphical techniques for determining inter- and intraspecific feeding relationships in estuarine fish. *Journal of Fish Biology*. 1997(51):526-545.
 18. Musibono DE, Biey M, Kabangu F, Mabela M, Nsimanda CI, Munzundu M *et al.* Profil minéral de la pollution atmosphérique à Kinshasa (R.D. Congo). *Annales de la Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, R.D Congo*. 2009a, (1):91-101.
 19. Musibono ED, Kabangu F, Biey M, Nsimanda I, Kisangala M, Monsembula I *et al.* Utilisation des poissons comme bioindicateurs du profil métallique dans quelques rivières de Kinshasa, cas de N'djili, Kalamu et Makelele. *Annales de la Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, R.D Congo*. 2009b, (1):55-69.
 20. Muzito A. Kinshasa : de l'enfer au paradis » in Phare, n°5114 du 13 juillet, 2015.
 21. OMS. Santé et environnement : prendre en compte les effets de la pollution de l'air sur la santé. *Rapport du Secrétariat, EB136/15*. 2016. Disponible sur <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-rising/fr/>
 22. Parolin P, Wittmann F, Ferreira LV. Fruit and seed dispersal in Amazonian floodplain trees - A review. *Ecotropica*. 2013; 19(1, 2):15-32.
 23. Saint-Moulin L. et Kalombo. Atlas de l'organisation administrative de la République Démocratique du Congo. CEPAS, Kinshasa, 2005.
 24. Shomba KS, Mukoka NF, Olela ND, Kaminar TM, Mbalanda W. Monographie de la ville de Kinshasa. *ICREDES, Kinshasa – Montréal – Washington*. 2015, 105.
 25. Vennin A. La qualité de l'air: normes et procédures. *Imprimerie Nationale, Paris, France*. 2000, 35