

Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger

R. Kerbachi, N. Oucher, A. Bitouche, N. Berkouki, B. Demri, M. Boughedaoui et R. Joumard¹

Laboratoire LSTE, Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, Algérie

Fax +213 21 522973 – email : r_kerbachi@yahoo.fr

¹ INRETS, LTE, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France

Absract

The study presents the levels of air pollution by fine particulates matters PM-10, PM-2.5 and PM-1 at five different sites in the great Algiers. The results reveals that fines particles rise high levels and exceeds le European and WHO guidelines. The respirable fraction PM-2,5 constitute approximately 60% in mass of the PM-10. It is shown that PM-10 particles follow a bimodal distribution which is characteristics of the urban background. The size distribution of heavy metals associated to particles depending of the emission source. The lead which is relatively abundant in Algiers is associated to the very fine particles. The study presents also correlations between some parameters.

Key-words: Air pollution, road traffic, PM-10, PM-2,5, PM-1, acid aerosol, lead metals, size distribution, Algiers

1. Introduction :

Les particules fines de différentes classes granulométriques PM-10, PM-2,5 et PM-1 constituent un important facteur de pollution de l'air, particulièrement en milieu urbain où le trafic routier est dense. Sur le plan sanitaire, elles représentent un indicateur majeur de la qualité de l'air (Schroeder et coll., 1987; Jansen et coll., 1997; Chiron et coll., 1997). De nombreuses et cohérentes études leur attribuent une forte responsabilité dans la survenue d'une vaste gamme d'effets biologiques et sanitaires (Dockery et coll., 1993; Pope et coll., 1995). De part leurs caractéristiques physico-chimiques, elles exercent sur le système respiratoire et cardiovasculaire un potentiel de nuisance élevé. Le Commissaire européen à l'environnement, estimait en 2007 que chaque année, 370.000 personnes en Europe meurent prématurément de maladies liées à la pollution de l'air, dont 350.000 d'entre elles à cause des particules respirables les PM-2,5. Aussi, après les USA et l'OMS, l'Union Européenne étudie la possibilité de rendre plus sévères les normes en vigueur depuis 2000.

En Algérie où l'urbanisation et la motorisation se développent rapidement, la dégradation de la qualité de l'air et les nuisances sont déjà perçues. Des études ont montré que le Grand Alger (3,5 millions d'habitants, 800.000 véhicules) est, comme toute grande agglomération urbaine, confronté à une intense pollution atmosphérique (Boughedaoui et coll. 2004 ; Kerbachi et coll. 2006a et 2006b). La principale source d'émission est le trafic routier. La pollution par les particules fines n'a cependant pas fait l'objet d'une attention particulière.

Aussi et afin d'avoir des données précises sur les niveaux et types de pollution et pour arriver à formuler une stratégie de prévention, nous avons de 2002 à 2007 effectué une vaste étude sur la contamination de l'atmosphère par les PM10, PM-2,5 et PM-1 en différents types de sites dans l'agglomération d'Alger. Les métaux lourds associés à ces particules et leur contribution à la pollution globale ont été également étudiés.

2. Méthodologie :

L'étude a été réalisée au niveau de cinq sites: deux sites urbains U1 et U2 qui permettent d'évaluer les taux d'exposition de la population citadine à la pollution, un site de proximité de type station trafic P (site sous influence directe des émissions automobiles) et deux sites péri-urbains PU1 et PU2 situés à la limite du tissu urbain d'Alger (figure 1) :

U1 : le poste de mesure est situé au niveau de la cité universitaire de Bab-Ezzouar à environ 15 Km au sud-est d'Alger-Centre. Ce site est considéré comme étant un site urbain à forte densité de population résidente (45000 hab./Km²).

U2 : le poste est implanté à l'intérieur de l'hôpital C.H.U. Mustapha Bacha au centre d'Alger. Ce poste qui donne sur la baie d'Alger fait l'objet d'une très bonne ventilation naturelle

P : Le poste de prélèvement est implanté à l'Ecole Nationale Polytechnique (ENP) située au sud-est à environ 10 Km du centre d'Alger et directement (à 8 m) au bord de la RN5. Cet important axe routier est fréquenté par plus de 25000 véhicules/jour dont environ 15% de bus et véhicules lourds diesel. Ce site est également exposé à une bonne ventilation naturelle.

PU1 : Ce site péri-urbain est localisé dans la commune de Dely-Brahim (Sud d'Alger) au niveau de l'Institut ISMAL

PU2 : Le site est implanté à la limite de Bouzaréah au niveau du centre CDER qui est le point le plus élevé d'Alger. Ce site bien ventilé ne subit pas l'influence d'émissions directes de particules.

En ces différents sites, l'échantillonnage est effectué à une hauteur de 4 à 12 m du sol.

Pour les prélèvements par classe granulométrique, un échantillonneur à fort débit, le HVS-PM-10 équipé d'un cascadeur Sierra à 4 étages ($< 1\mu\text{m}$, $1-1,5\mu\text{m}$, $1,5-3\mu\text{m}$, $3-7,2\mu\text{m}$ et $7,2-10\mu\text{m}$) a été utilisé (débit $1\text{ m}^3/\text{min}$). La durée de prélèvement est de 24H. Pour les sites urbains et de proximité, le suivi est réalisé sur une année à raison de deux à trois prélèvements journaliers par semaine. Pour les sites péri-urbains, il s'est fait sur six mois. Après minéralisation acide des filtres des particules collectées, les métaux lourds Fe, Pb, Mn, Cu et Cd, sont analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique.

3. Résultats et discussion

3.1. Étude et ampleur de la pollution par les particules fines

Les résultats obtenus montrent que dans tous les sites les teneurs journalières varient dans une large fourchette. A titre d'exemple, nous présentons en figure N°2 l'évolution journalière des PM-10, PM-3 et PM-1 mesurées au site de proximité P en 2003.

Cette variation journalière est due, d'une part aux changements dans l'intensité des sources émettrices (trafic routier), et d'autre part aux influences météorologiques (vent, pluie, etc.). En ce site, les teneurs moyennes annuelles des particules inhalables PM-10, des particules respirables PM-2,5 et des particules très fines PM-1 s'élèvent respectivement à $80,9\mu\text{g}/\text{m}^3$, $43,1\mu\text{g}/\text{m}^3$ et $27,7\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour l'ensemble des sites étudiés, les teneurs moyennes des trois classes granulométriques PM-10, PM-3 et PM-1 sont résumées en Tableau 1.

Il en résulte que les teneurs atmosphériques des PM-i sont en site de proximité (sous influence direct des émissions automobiles) les plus élevées. Les teneurs les plus basses sont mesurées en sites péri-urbains. Ces derniers sont en moyenne deux fois plus faibles qu'en milieu urbain.

Les rapports PM-1/PM-10 et PM-3/PM-10 qui donnent la contribution massique des particules fines au PM-10 sont similaires pour tous les sites et montrent que dans les PM-10, les particules très fines sont prédominantes. Les PM-1 très nocives constituent plus du tiers des PM-10 et les PM-3 plus de la moitié. La figure 3 illustre la contribution massique moyenne aux PM-10 des différentes fractions granulométriques mesurées en milieu urbain. La fraction alvéolaire PM-2,5 que les normes prennent en considération, n'est pas accessible expérimentalement par notre échantillonneur. Elle est déterminée graphiquement à partir des données des cinq classes granulométriques en portant sur un diagramme log-probabilité le diamètre d_i des particules en fonction du pourcentage de la masse cumulée des particules ayant un diamètre $\leq d_i$ (Butler, 1979). Les résultats ainsi obtenus montrent que les PM-2,5 constituent selon le type de site environ 92 à 94 % des PM-3. Ainsi, en assimilant les PM-3 aux PM-2,5, l'erreur commise est acceptable.



Figure 1 : Localisation des sites de mesure dans l'agglomération d'Alger

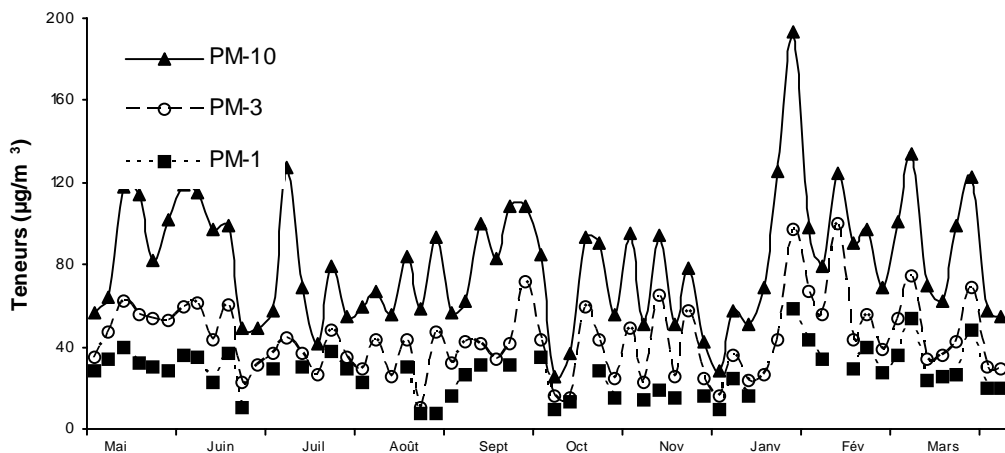


Figure 2: Évolution des teneurs en PM-10, PM-3 et PM-1 mesurées à Alger

Tableau 1: Teneurs atmosphériques en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM-i mesurées à Alger

Sites	PM-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rapport PM-1/PM-10	Rapport PM-3/PM-10
P	27,1	43,3	80,4	0,34	0,54
U1	22,2	35,6	69,3	0,32	0,51
U2	18	28,1	48	0,37	0,58
PU1	13,1	18,3	27	0,48	0,67
PU2	10,4	20	30	0,35	0,66

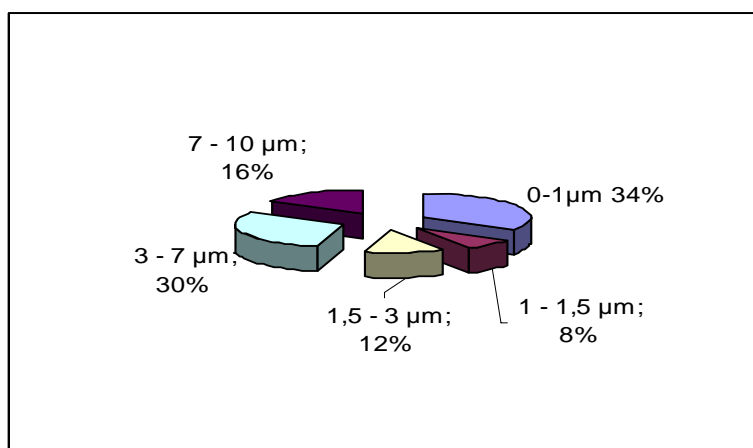


Figure 3 : Répartition des PM-10 par classe granulométrique en milieu urbain.

La comparaison des teneurs atmosphériques par rapport aux normes algériennes (J.O.- RADP, 2006) américaines (US-EPA, 1997), européenne (J.O.-CE, 1999) et OMS (WHO, 2005) est donnée en figures 4 et 5 pour les PM-10 et PM-2,5 respectivement. Pour les PM-1, ils n’existent pas encore de seuils-limites. Ces comparaisons montrent que, par rapport aux sévères valeurs-guides de protection de la santé de l’OMS, les teneurs moyennes annuelles en PM-10 et PM-2,5 sont largement dépassées en tout type de sites. Les normes européennes et américaines ne sont respectées qu’en sites péri-urbains. La norme algérienne qui ne précise pas le type de particules (PM-10 ou particules totales en suspension ?) et qui est très peu contraignante est respectée sur tous les sites. L’objectif de qualité qu’elle fixe à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est cependant dépassé en site de proximité et sites urbains. Globalement, on constate que la pollution par les particules fines est excessive aussi bien en site de type station trafic qu’en sites urbains.

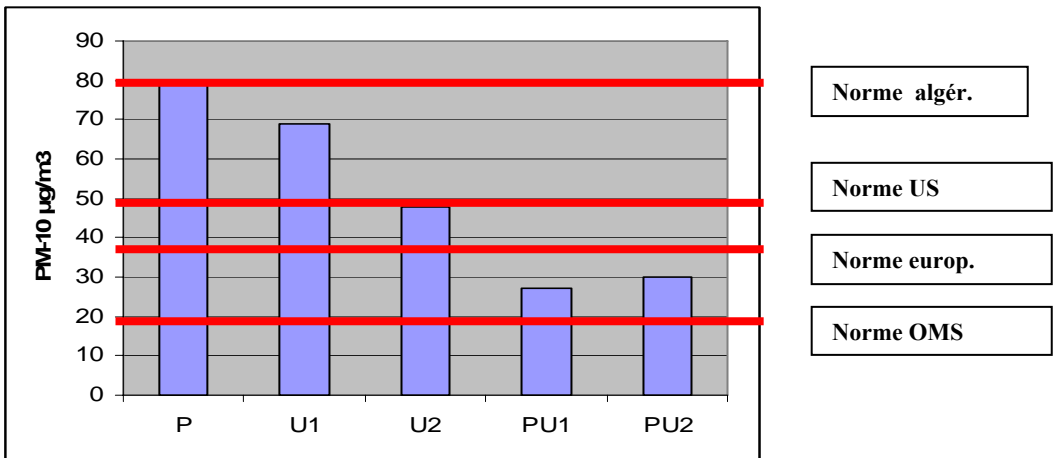


Figure 4 : Comparaison des PM-10 par rapport aux normes

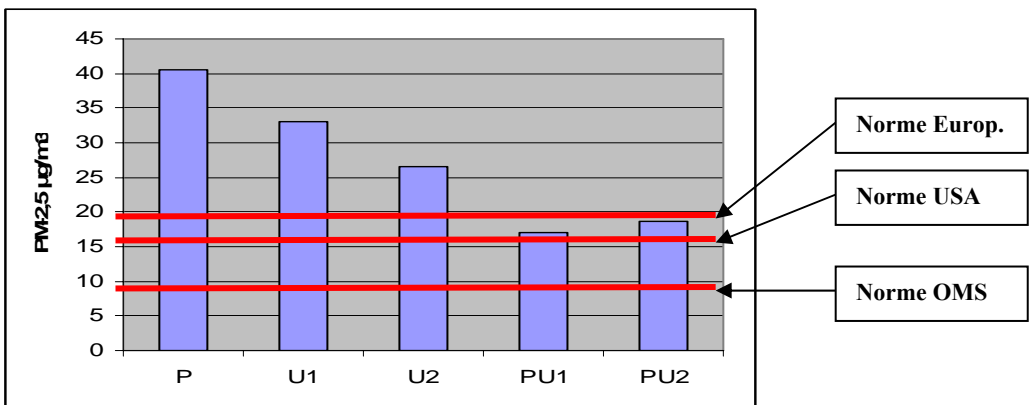


Figure 5: Comparaison des PM-2,5 par rapport aux normes

Cette pollution est inquiétante de par son ampleur, mais aussi de part la forte présence de particules très fines qui accentuent le potentiel nuisance des particules atmosphériques. Une comparaison avec d'autres villes montre également que Alger accuse un taux élevé de pollution. Les teneurs en PM-10 mesurées à Alger sont en effet très supérieures à celles observées dans les villes européennes telles que Paris, Lyon et Marseille (22 à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)(MEEDA, 2006), mais inférieures à celles des villes de certains pays émergents connues pour leur forte pollution comme Pekin (135,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et Le Caire (130 à 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Gertler and coll, 2006).

3.2. Corrélations entre différentes classes granulométriques

L'évolution journalière des teneurs en particules PM-1, PM-3 et PM-10 illustrée en figure 2 montre une similitude dans leur évolution, particulièrement entre les PM-1 et PM-3. La figure 6 présente certaines corrélations obtenues en site urbain et site de proximité. On remarque que pour les deux types de sites, on obtient de très bonnes corrélations linéaires entre d'une part les PM-1 et PM-3 et d'autre part les PM-(3-10) et PM-10. La corrélation entre les PM-1 et PM-10 n'est pas satisfaisante. Ce résultat suggère que les particules très fines PM-1 et PM-3 ont probablement la même origine, le trafic routier et les particules secondaires. Les fractions PM-10 et PM-(3-10) qui sont moins fines sont fortement enrichies en particules d'origine terrestre et particules de resuspension.

3.3. Distribution granulométrique des particules

L'étude des fréquences de distribution des teneurs des différentes classes granulométriques permet d'accéder à la modalité de la distribution granulométrique de particules mesurées à Alger (Zhuyun Xu et coll. 2002). L'exploitation statistique des données montre que les particules étudiées suivent une courbe de distribution bimodale centrée sur les modes 0,6 et 6 μm (figure 7) pour les sites urbains et les modes centrés sur 0,8 et 6 μm pour le site de proximité. La bibliographie rapporte des distributions bimodales similaires. Dans certains cas, on aboutit à une courbe trimodale lorsqu'on considère aussi les particules ultrafines.

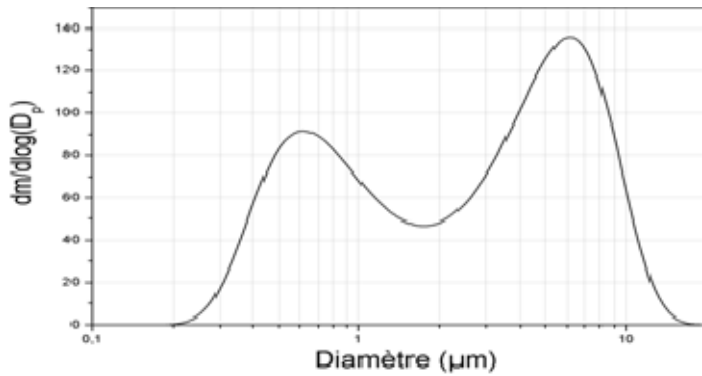
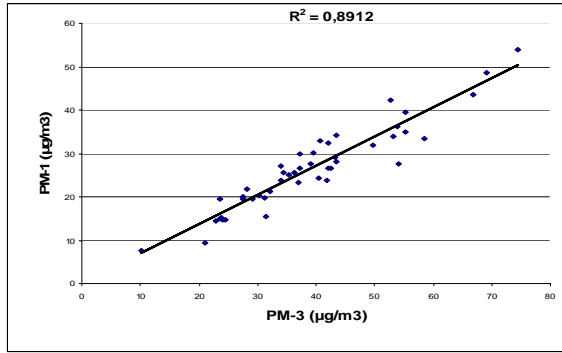


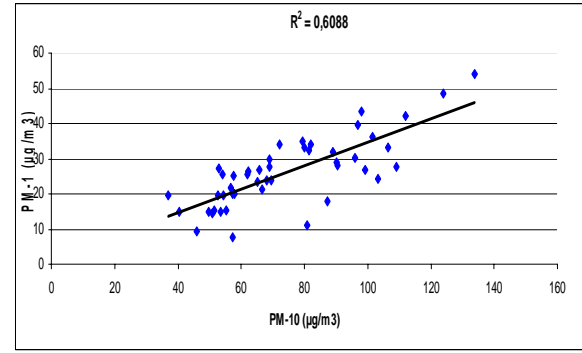
Figure 7: Distribution bimodale des particules PM-10 à Alger

Tableau 2: Teneurs atmosphériques en métaux lourds associés aux PM-i (nd= non décelable)

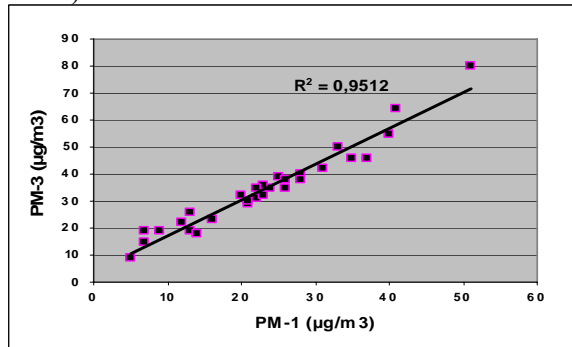
PM-i	Teneurs moyennes en métaux lourds (ng/m ³)					
	Fe	Pb	Mn	Cu	Cd	
PM-1	Proximité	148,9	150,8	16,8	32,7	7,4
	urbain	104,7	114,4	12,3	22,1	0,59
	Péri-urbain	146,6	nd	15,3	7,9	nd
PM-3	Proximité	282,9	208,9	31,2	63,2	12,8
	urbain	190,3	148,3	24,3	48,3	1,1
	Péri-urbain	251,4	4,2	28,7	12,8	nd
PM-10	Proximité	639,8	299,3	57,8	102,9	21,2
	urbain	460,1	222,4	41,3	60,8	1,4
	Péri-urbain	440,3	6,1	61,4	22,6	0,3



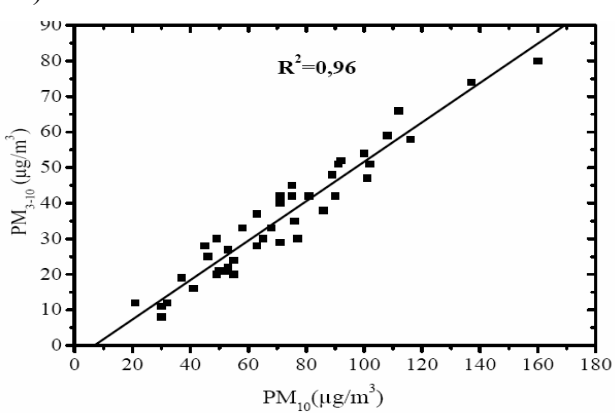
a)



b)



c)



d)

Figure 6 : Corrélations entre les classes PM-i en site de proximité (a et b) et en site urbain (c et d)

3.4. Evaluation des métaux lourds associés aux PM-i

L'étude des métaux lourds par classe granulométrique montre que pratiquement dans toutes les fractions et dans tous les sites, le fer est, parmi les éléments étudiés, le métal le plus abondant. En milieu urbain, avec une teneur moyenne de 460 ng/m^3 , il constitue 0,62 % des PM-10. Le plomb, dans son abondance, suit le fer. De 300 ng/m^3 en site de proximité, il ne s'élève plus qu'à environ 6 ng/m^3 en site péri-urbain. En site urbain, les teneurs mesurées en plomb sont relativement élevées et dépassent la nouvelle norme européenne de $0,2 \text{ }\mu\text{g/m}^3$. L'analyse de ces données montre que les métaux lourds se distribuent différemment sur les classes granulométriques. Ainsi en site urbain, le rapport $\text{Pb}_{\text{PM-3}}/\text{Pb}_{\text{PM-10}} = 0,66$ signifie que 66% du plomb atmosphérique global a une granulométrie inférieure à $3\text{ }\mu\text{m}$. Dans le cas du fer, 60% se répartissent sur la moins fine fraction trachéobronchique des PM-(3-10). Le manganèse se comporte comme le fer. Cette différence dans la taille des métaux lourds est liée à leur source d'émission. Les métaux de l'écorce terrestre (Fe, Mn, Cu) sont associés aux particules grossières (3-10 μm) tandis que le plomb enrichit surtout les fines particules issues du trafic routier (figure 8).

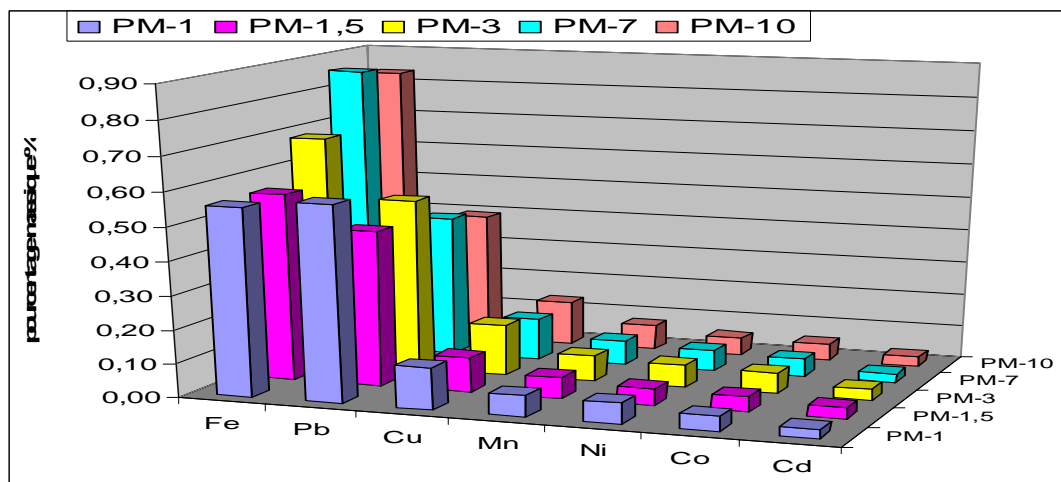


Figure 8 : Fractions massiques des métaux lourds dans les PM-i en site de proximité

4. Conclusion

L'étude réalisée sur plusieurs années a permis d'accéder aux niveaux de pollution de l'air par les particules fines (PM-10, PM-2,5 et PM-1) atteints à Alger en différents types de sites. En milieu urbain et en site station trafic routier, les teneurs en PM-10 et PM-2,5 sont excessives et dépassent les normes internationales et OMS. Cette pollution est d'autant plus inquiétante que plus de 60 % des PM-10 sont des particules respirables. En sites péri-urbains, les niveaux de pollution sont certes réduits de moitié, mais atteignent en ampleur les niveaux mesurés en sites urbains dans les grandes villes européennes. On montre par ailleurs que les PM-10 suivent une distribution bimodale centrée sur 0,6 et $6\text{ }\mu\text{m}$. Il existe probablement trois sources majeures de pollution : le trafic routier et les particules secondaires pour les PM-3 et les sources terrigènes pour les PM-(3-10). L'étude des métaux lourds montre la présence d'un taux élevé de plomb associé aux particules très fines et de Fe et Mn de l'écorce terrestre dans les particules grossières. Ainsi, en plus des émissions du trafic routier, les sols nus, le manque de végétation et la resuspension contribuent à ces taux élevés en pollution de l'air par les particules.

Références

- 1- Boughedaoui M., R. Kerbachi et R. Joumard (2004) : Mesure de la pollution plombifère dans l'air ambiant d'Alger, *Poll. Atm.*, N°121, p.105-111
- 2- Butler J.D. (1979): Air pollution chemistry, *Academic Press*, London, p 345-352
- 3- Chiron M., P. Quenel et D. Zmirou (1997) : La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. *Poll. Atm.*, Janvier-mars, p 41-52.

- 4- Dockery D.W., C.A. Pope, X. Xu, J.D. Spengler, M.E. Ware, B.G. Fay, Jr. Ferris and F.E. Speizer (1993) : An association between air pollution and mortality in six US cities. N. Eng. J. Med., 329, p 1753 –1759.
- 5- Gertler A.W., M. Abu-Allaban and D.H. Lowenthal (2006), The mobile source contribution to observed PM-10, PM-2,5 and VOCs in The greater Cairo area, 15^e Colloque international " Transport et pollution de l'air", proceedings N°107, Vol. 1, Inrets Ed., Arcueil, France, 2006, p. 263-269
- 6- Janssen N. A. H., D. F.M. Van Mansom, K. Van Der Jagd, H. Harsema and G. Hoek (1997): Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations. Atm. Env., vol. 31, N°8, p 1185-1193.
- 7- Journal officiel des Communautés européennes (1999): L 163/41, directive 1999/30/CE du 27 avril 1999, Bruxelles.
- 8- Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire (2006), Décret N° 06-02 du 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique
- 9- Kerbachi R., M. Boughedaoui, L. Bounouna, M. keddami (2006a), Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers, Atm. Env., 40, 2006 p. 3995-4003
- 10- Kerbachi R., M. Boughedaoui, A. Bitouche et R. Joumard (2006b) : Etude de la pollution de l'air par les particules fines PM-10, PM-2,5 et PM-1 et évaluation des métaux lourds qu'elles véhiculent en milieu urbain, 15^e Colloque international " Transport et pollution de l'air", proceedings N°107, Vol. 2, Inrets Ed., Arcueil, France, 2006, p. 213-218
- 11- Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, France (2007), Bilan de la qualité de l'air 2006, rapport du 7 mars 2007
- 12- Pope C.A., M.J. Thun, M. Namboodira, D.W. Dockery, J.S. Evans, F.W. Speizer and Jr. C. W. Heath (1995) : Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. Am. J. Respir. Crit. Care Med., vol. 151, N°3, p 669-674.
- 13- Schroeder W.H. et al. (1987): Toxic trace elements associated with airborne particulate matter, A review. JAPCA, 37, 11, p 1267 – 1285.
- 14- U.S.- Environmental Protection Agency (1997): National ambient air quality standards (NAAQS) for particulate matter, Federal Register, vol.62, N° 138.
- 15- WHO, Air quality guide line, Global update 2005, particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide, Genova 2005.
- 16- Zhuyun Xu, M. Gautam and S. Mehta(2002), Cumulative frequency fit for particle size distribution, Appl. Occup. Env. Hyg., volume 17(8), p. 538-542