

Étude des corrélations des sites de prélèvements dans la mesure des particules en suspension en milieu urbain : étude préliminaire

Study of sampling sites correlations in the measurement of suspended particles in urban area : preliminary study

Philippe SCHWEIZER*, Jacques DÉCHENAU*, Céline BOUDET**, Denis ZMIROU**

RÉSUMÉ

L'estimation de l'exposition aux particules en suspension de personnes vivant en site urbain est souvent réalisée par la mesure des concentrations dans l'environnement à partir de postes fixes. L'objectif de ce travail est d'étudier les corrélations horizontale et verticale des sites de prélèvements dans la mesure des particules en suspension, selon leur profil granulométrique.

Dans un premier temps, un analyseur (GRIMM 1105) est installé du 15 au 19 avril 1997 sur un site de proximité du trafic automobile (boulevard Foch à Grenoble) et un autre sur un site de fond (Villeneuve). Pour les différentes granulométries des particules, les résultats présentent une évolution identique des concentrations au cours de la période de prélèvement. Ceux obtenus en proximité restent en permanence plus élevés, avec, par exemple : PM_{10} moyenne = $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en fond, ce qui confirme l'influence du trafic sur les concentrations ambiantes.

Dans un deuxième temps (du 23 au 30 mai 1997), les appareils sont installés aux premier et cinquième étages d'un immeuble situé boulevard Foch. Hormis pour les particules inférieures à $0,5 \mu\text{m}$, les concentrations restent plus élevées au premier étage, confirmant l'influence du poids des particules sur leur répartition verticale.

Dans le cadre de la surveillance de la pollution atmosphérique urbaine, le suivi des concentrations des particules en suspension est essentiel. Le choix des sites de prélèvement doit être

ABSTRACT

Exposure of urban populations to ambient air particles is often characterized using data from ambient air quality monitoring networks. The purpose of this study is to assess the spatial and vertical correlations of these measurements.

Two series of experiments are carried out. First, an optical particles monitor (GRIMM 1105) is set up at a site close to traffic emission (proximity site) and another one at a urban background site. For each granulometric fraction of particles, there is a similar evolution of the concentrations during the study period (15-19 May 1997). Those obtained at the proximity site are always the highest (e.g. : mean PM_{10} = $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ versus $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), which is consistent with the influence of traffic on the ambient air particles concentrations.

Secondly, the devices are set up at the first and the fifth floors of a building located near the proximity site (23-30 May 1997). Except for particles smaller than $0,5 \mu\text{m}$, concentrations are the greatest at the first floor, which confirms the influence of particles' weight on their spatial distribution.

judicieux, car les particules en suspension dans l'atmosphère constituent un ensemble très hétérogène dont la nature et la quantité sont très variables.

Dans le but d'estimer l'influence du site de prélèvement sur les mesures des particules en suspension, des mesures en parallèle sur des sites différents ont été effectuées :

- un site de proximité et un site de fond ;

* APPA, Comité Dauphiné-Savoie, Faculté de médecine, 38 706 La Tronche.

** Laboratoire de Santé Publique, Faculté de médecine, 38706 La Tronche.

– aux premier et cinquième étages d'un immeuble situé sur un site de proximité.

Methodologie

Matériel de mesure

Pour effectuer les analyses deux analyseurs de type GRIMM 1105 ont été utilisés. L'air est aspiré dans une chambre de mesure et traverse un faisceau de lumière infrarouge. L'analyse de la lumière diffractée par les particules est effectuée à l'aide d'une photodiode sur un angle de 60 à 120 degrés. Un analyseur de pics classe les signaux produits et les trie en fonction de la taille des particules (0,75-1 μm ; 1-2 μm ; 2-3,5-5 μm ; 3,5 μm ; 5-7,5 μm ; 7,5-10 μm ; 10-15 μm ; > 15 μm).

L'air passe ensuite sur un filtre (porosité 2 μm) où la poussière est collectée. Les filtres sont pesés au microgramme (μg) grâce à une microbalance (Mettler MT5) après déionisation, pour éliminer les forces électrostatiques (déionisateur MULTUSTAT EI-RN). Avant la pesée, ils sont stockés pendant 24 heures au laboratoire (stabilisation de l'humidité et de la température). Cette pesée permet de déterminer la masse réelle de particules provenant de l'air échantillonné qui, comparée à la masse théorique calculée par l'appareil, permet d'établir une valeur de corrélation (facteur C) pour l'aérosol prélevé afin d'obtenir des concentrations massiques. Ce facteur C varie beaucoup d'un site à l'autre et d'une période de prélèvement à l'autre. Il doit donc être calculé pour chaque type de prélèvement.

Le GRIMM intègre les mesures sur une minute. Pour cette étude, une moyenne quart horaire a été effectuée.

Pour l'étude de la corrélation des sites de prélèvement, les résultats délivrés par deux appareils identiques mais placés à des endroits différents doivent pouvoir être comparés. De façon à vérifier l'identité des résultats obtenus par chacun des appareils, les deux compteurs de particules ont été placés en parallèle sur un même site et dans les mêmes conditions. Le site retenu a été choisi à proximité d'une voie à grande circulation (trafic : 15 000 véhicules par jour) ; les appareils ont été placés en façade à environ 4 mètres du sol et 10 mètres de la route, du 24 au 28 avril 1997.

L'étude des résultats donne des corrélations très bonnes ($0,92 < r < 0,98$) pour toutes les fractions granulométriques. La tranche 0,75-1 μm montre la corrélation la moins bonne ($r = 0,75$). Les mesures ont été perturbées par la pluie au cours des deux derniers jours.

Représentativité spatiale des sites de prélèvement

Site de proximité et site de fond

Un appareil (n° 2) est installé boulevard Foch, au premier étage d'un immeuble (site de proximité) et un autre (n° 1) dans le quartier de Villeneuve (site de fond). Ces deux sites sont des lieux de prélèvement de l'ASCOPARG, réseau de surveillance de la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise. La comparaison des deux sites s'est déroulée du 15 au 19 mai 1997

Gradient vertical

L'appareil (n° 1), placé dans le quartier de Villeneuve, est déplacé et installé à son tour boulevard Foch au cinquième étage d'un immeuble, à proximité du premier analyseur, pour étudier l'effet du gradient vertical. Le prélèvement d'air est effectué côté boulevard du 23 au 30 mai.

Description des sites

La topographie du site du boulevard Foch (immeubles hauts, orientation perpendiculaire aux vents dominants) en fait un lieu « privilégié » de surveillance de la pollution automobile, représentatif des concentrations en polluants primaires automobiles les plus élevées de l'agglomération (trafic : 65 000 véhicules par jour).

Le site de Villeneuve est un site de fond situé au cœur d'une zone à forte densité de population. Il est éloigné de tout grand axe routier. Le prélèvement est effectué à une hauteur d'environ 13 mètres du sol.

Résultats

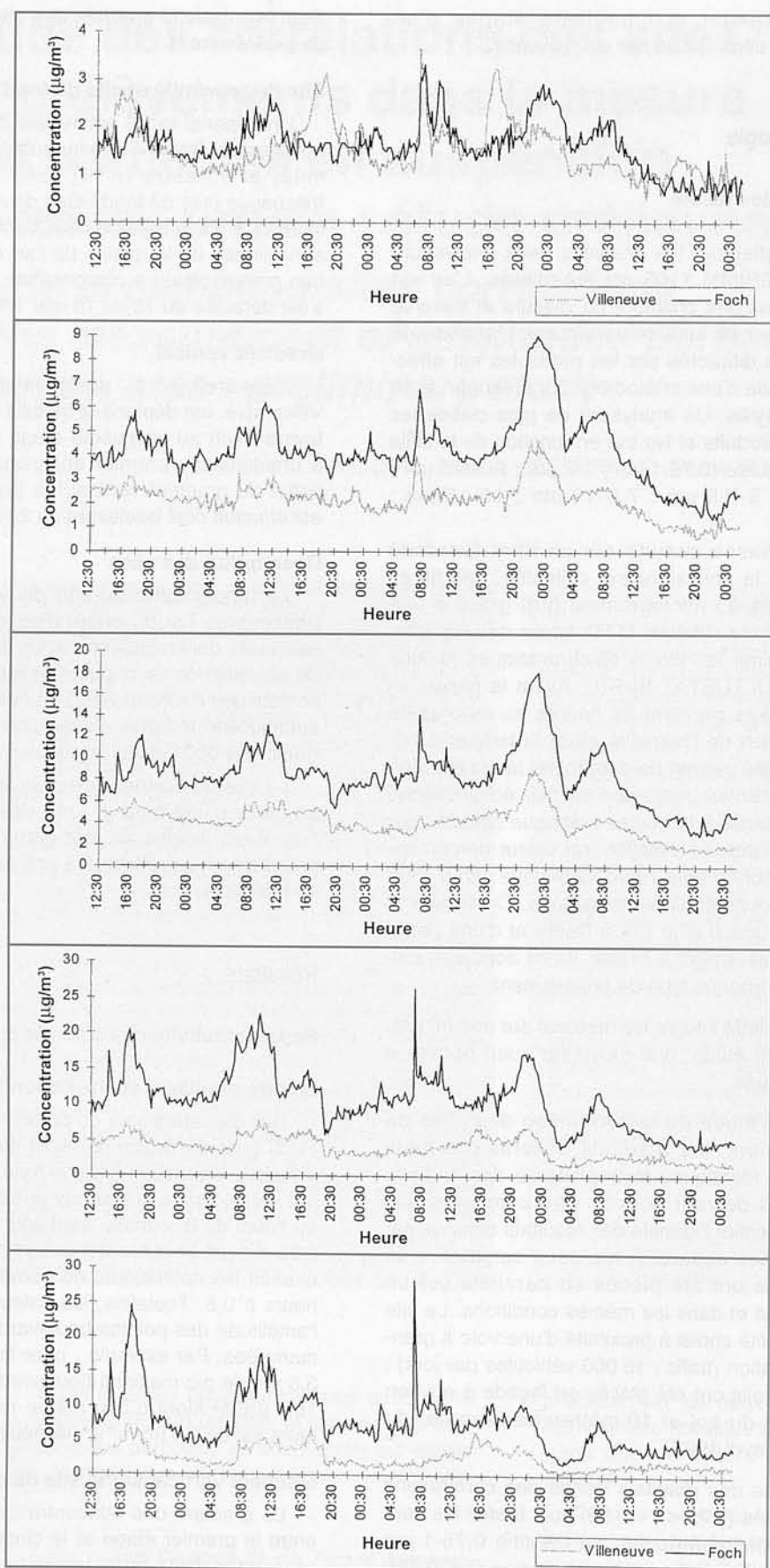
Représentativité des sites de prélèvement

Site de proximité et site de fond

Les concentrations de particules du boulevard Foch (site de proximité) sont plus élevées que celles de Villeneuve (site de fond) (Figure 1 de A à I). Les courbes présentent une évolution proche au cours de la journée, sauf pour les fractions de 0,75 à 1 μm et celles dépassant 15 μm , pour lesquelles les coefficients de corrélation sont inférieurs à 0,5. Toutefois, les valeurs moyennes et l'amplitude des pointes boulevard Foch sont plus marquées. Par exemple : pour la fraction de 2 à 3,5 μm , le pic maximal boulevard Foch s'élève à 18,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alors qu'au même moment le maximum est de 8,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Villeneuve.

Gradient vertical sur le site de proximité

Le gradient des concentrations de particules entre le premier étage et le cinquième étage est plus important pour les grosses particules (Figure 2 de A à I). La différence moyenne est, par exemple, de 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la fraction de 1 à



A - De 0,75 à 1 μm

	Villeneuve	Foch
m	1,5	1,6
et	0,6	0,5
min	0,5	0,4
max	3,7	3,3
r	0,45	

B - De 1 à 2 μm

	Villeneuve	Foch
m	2,2	4,2
et	0,7	1,4
min	0,6	1,4
max	4,7	9
r	0,90	

C - De 2 à 3,5 μm

	Villeneuve	Foch
m	4,1	8,4
et	1,4	2,7
min	1,3	2,9
max	8,8	18,1
r	0,88	

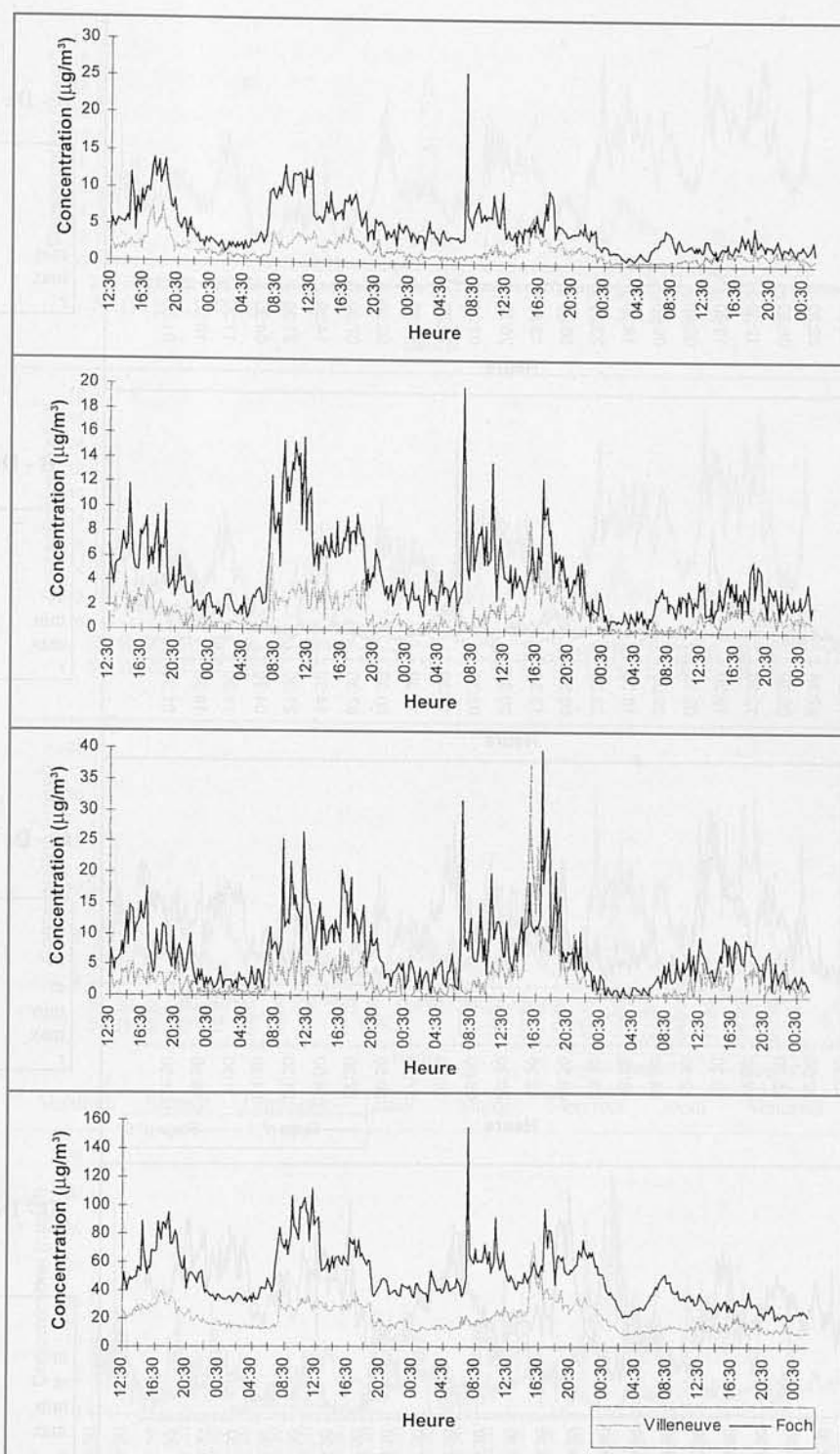
D - De 3,5 à 5 μm

	Villeneuve	Foch
m	3,9	10,6
et	1,5	4,1
min	1,5	3,7
max	7,8	26,2
r	0,79	

E - De 5 à 7,5 μm

	Villeneuve	Foch
m	2,5	7,6
et	1,5	4
min	0,3	1,7
max	7,2	28,3
r	0,74	

Figure 1. Comparaison d'un site de proximité et d'un site de fond.
Comparison between a proximity site and a background site.



F - De 7,5 à 10 µm

	G1	Foch
m	1,7	4,7
et	1,2	3,1
min	0,1	0,6
max	7,7	25,8
r	0,66	

G - De 10 à 15 µm

	Villen.	Foch
m	1,4	4,4
et	1,3	3,1
min	0	0,2
max	9,1	19,8
r	0,53	

H - > 15 µm

	Villen.	Foch
m	3	6,8
et	3,8	5,5
min	0	0
max	37,7	40
r	0,46	

I - Particules totales

	Villen.	Foch
m	20,3	48,3
et	9,2	19,7
min	8	18,7
max	75	155
r	0,68	

Attention : les échelles ne sont pas les mêmes pour toutes les courbes.

Figure 1 (suite).

2 µm, de 2,9 µg/m³ pour la fraction de 2 à 3,5 µm, alors qu'elle est de 5,5 µg/m³ de 10 à 15 µm et de 5,5 µg/m³ de 5 à 7,5 µm.

Pour toutes les fractions, sauf les particules les plus fines de 0,75 à 1 µm, les courbes des deux étages ont des évolutions semblables au

cours de la journée, avec des valeurs plus importantes les jours de semaine et plus basses la nuit. Cependant, pour les particules fines (de 1 à 5 µm), les variations temporelles sont moins marquées ; elles ne sont nettes que pour les plus grosses.

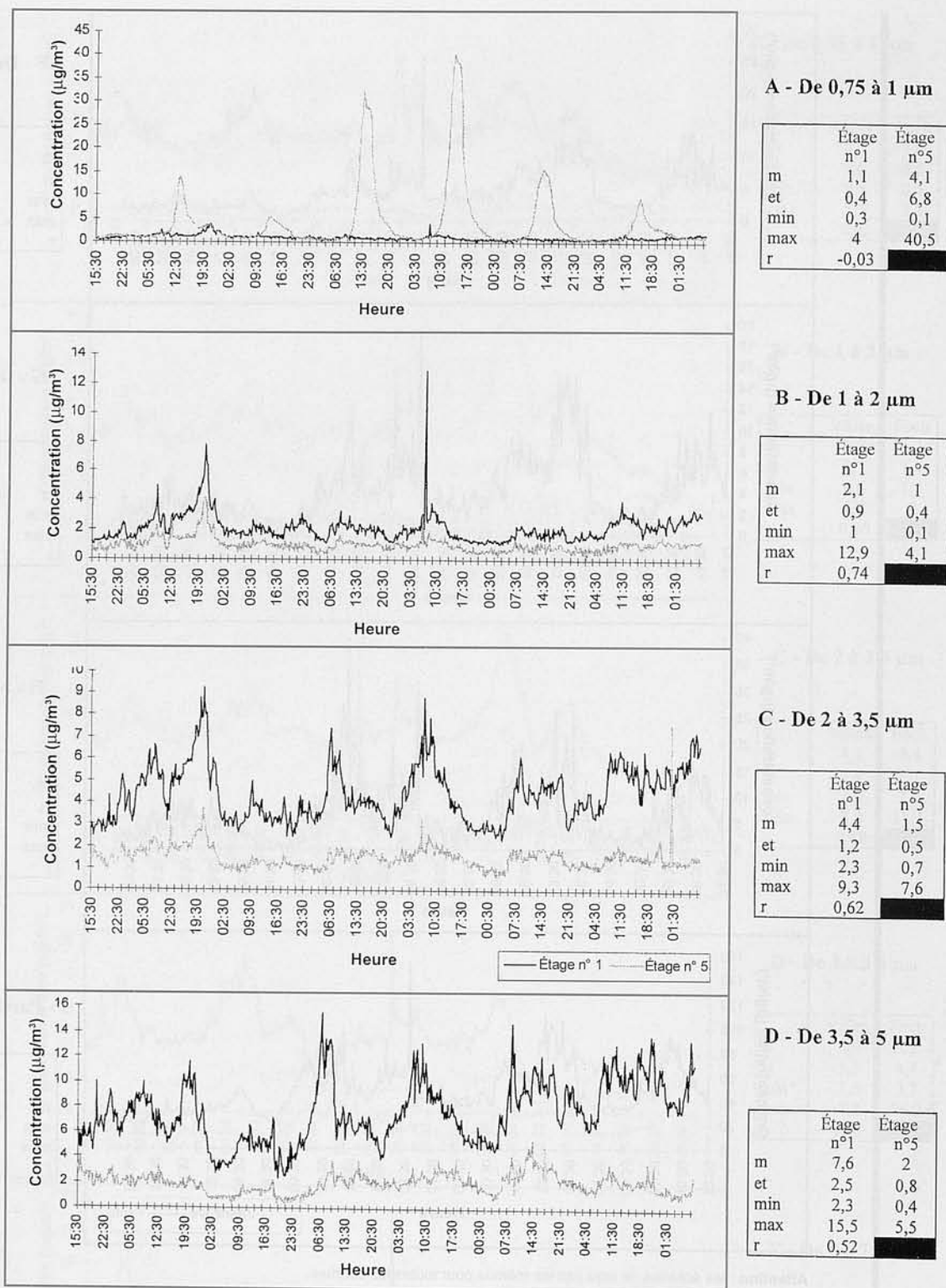


Figure 2. Évolution du gradient vertical des concentrations en particules au cours d'une semaine.
Evolution of vertical gradient of particles concentrations during one week.

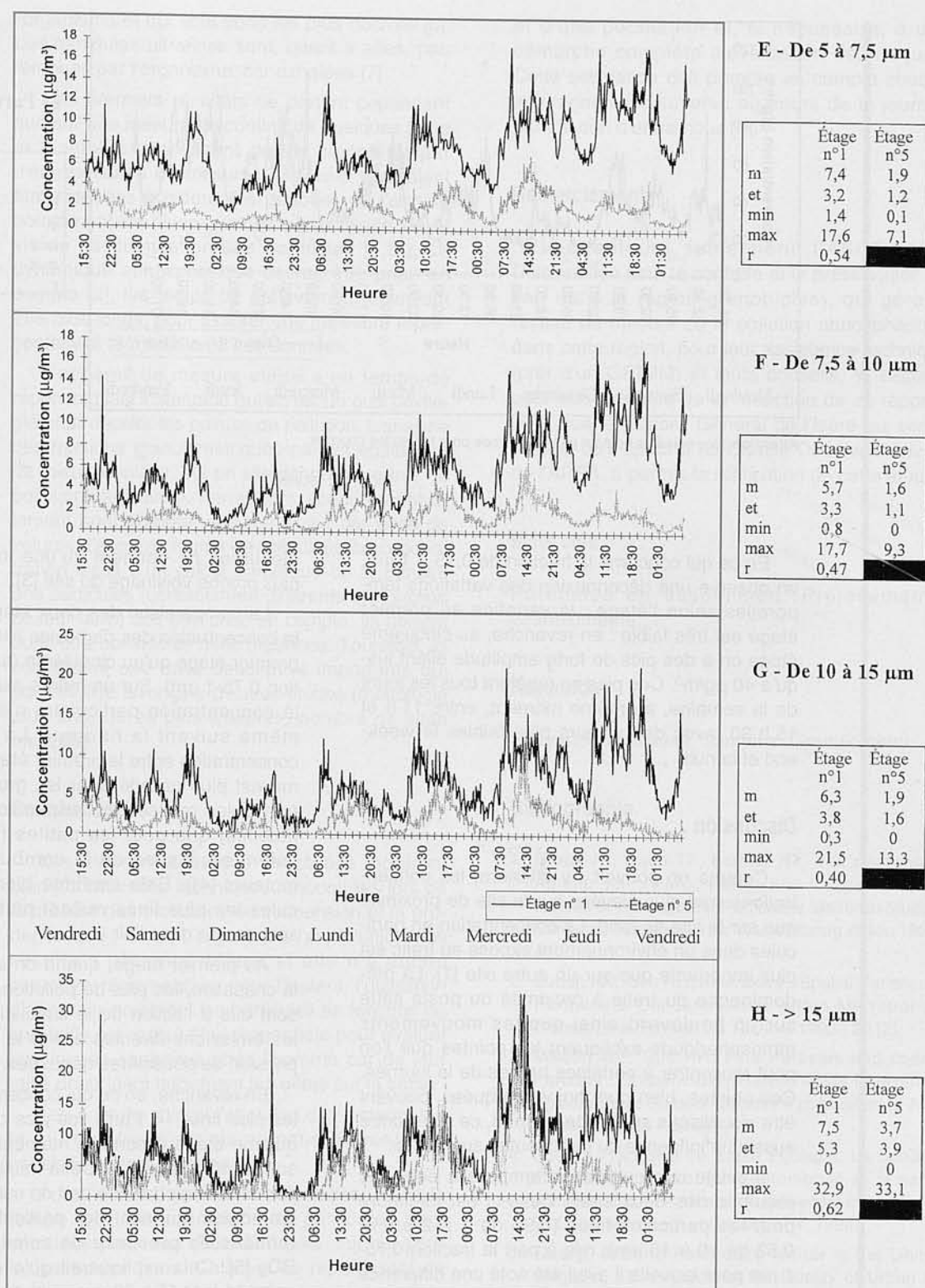
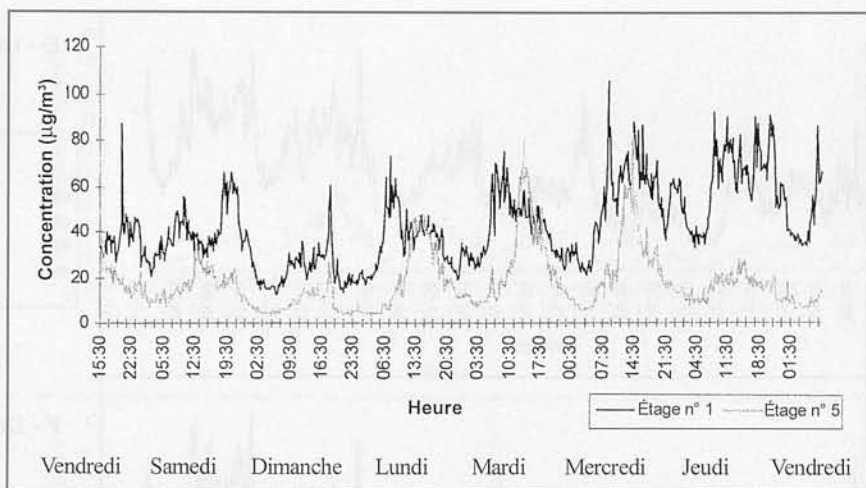


Figure 2 (suite).



I - Particules totales

	Étage n°1	Étage n°5
m	42,2	17,8
et	17,5	12,8
min	12,4	3,7
max	105,2	85,8
r	0,42	

Attention : les échelles ne sont pas les mêmes pour toutes les courbes.

Figure 2 (suite).

En ce qui concerne la fraction de 0,75 à 1 µm, on observe une déconnexion des variations temporelles selon l'étage : la variation au premier étage est très faible ; en revanche, au cinquième étage on a des pics de forte amplitude allant jusqu'à 40 µg/m³. Ces pics se répètent tous les jours de la semaine, au même moment, entre 11 h et 15 h 30, avec des valeurs plus faibles le week-end et la nuit.

Discussion

Comme on pouvait s'y attendre, les concentrations sont plus élevées sur le site de proximité que sur le site de fond. La concentration en particules dans un environnement exposé au trafic est plus importante que sur un autre site [1]. La prédominance du trafic à proximité du poste situé sur un boulevard ainsi que les mouvements atmosphériques expliquent les pointes que l'on peut rencontrer à certaines heures de la journée. Ces pointes, bien que moins marquées, peuvent être visualisées sur le site de fond, ce qui montre aussi une influence du trafic routier sur ce site.

Il existe une corrélation temporelle entre les résultats des deux sites. Celle-ci est meilleure pour les particules fines (0,90 de 1 à 2 µm et 0,53 de 10 à 15 µm), mis à part la fraction 0,75-1 µm pour laquelle il avait été noté une différence lors de la comparaison des deux appareils. Les particules fines semblent donc mieux réparties dans l'environnement que les fractions plus grosses [2]. En raison de leur faible poids et grâce aux phénomènes atmosphériques, elles peuvent parcourir de grandes distances par rapport à leur lieu d'émission. La mesure des particules fines sur un seul site a donc une meilleure représentativité spatiale que celle des plus grosses particules. Pour celles-ci, les valeurs

mesurées ne donnent qu'une indication sur le plus proche voisinage du site [3].

La comparaison des deux étages montre que la concentration des particules est plus élevée au premier étage qu'au cinquième (sauf pour la fraction 0,75-1 µm). Sur un même axe de circulation, la concentration particulaire n'est donc pas la même suivant la hauteur. La différence de concentration entre le premier étage et le cinquième est plus grande pour les grosses particules (particules remises en suspension par les automobiles) que pour les petites (particules plus volontiers issues de la combustion dans les moteurs [4]). Cela confirme bien que les particules les plus fines restent plus facilement en suspension dans l'air.

Au premier étage, quand on est plus près de la chaussée, les pics de pollution plus importants sont dus à l'action de la circulation à la fois sur les émissions directes et sur la remise en suspension de poussières déposées.

En revanche, en ce qui concerne les particules les plus fines (< 1 µm), les pics observés au cinquième étage à certains moments de la journée sont plutôt inattendus. Cette fraction de particules pourrait comporter une part de sulfates, nitrates et ammonium qui sont des particules secondaires formées en présence de soleil, de NO_x et de SO₂ [5]. Cela expliquerait qu'elles apparaissent entre 11 h et 15 h 30, moment où l'énergie solaire est la plus forte, facilitant cette chimie atmosphérique. Ce phénomène ne pourrait pas se produire avec la même amplitude au premier étage car il est à l'ombre en permanence.

Les habitants d'appartements situés au premier étage sont potentiellement plus exposés aux grosses particules que ceux habitant au dernier étage. Il faut souligner que ce sont les particules fines qui pénètrent le plus profondément dans

l'organisme et qui sont donc les plus nocives [6]. Les particules ultrafines sont, quant à elles, peu retenues par l'organisme, car exhalées [7].

Ces premiers résultats ne portent cependant que sur une mesure en continu de quelques jours et il semble intéressant de les compléter par d'autres séries de mesures. Celles-ci pourraient être réalisées à différentes périodes de l'année, notamment en hiver (période plus critique vis-à-vis de l'accumulation des particules [1,8]). La dynamique atmosphérique devrait être prise en compte [2], les temps de prélèvement devraient être plus longs, pour assurer une meilleure représentativité temporelle de ces données.

L'appareil de mesure utilisé a un temps de réponse quasi instantané qui en fait un outil privilégié pour déceler les pointes de pollution. L'analyse des fractions granulométriques permet également de mieux identifier, sur un site donné, la source de pollution particulaire. Par ailleurs, conçu essentiellement pour compter des particules par unité de volume, l'appareil fournit des résultats en concentration issus d'un calcul empirique où la densité des particules (certainement différente en fonction de leur taille) doit être prise en compte. Ils doivent donc être considérés avec prudence. Toutefois, ils constituent une base descriptive importante qui pourrait être à l'origine d'autres études (métrologie plus fine, durée plus adaptée, nombre de sites multiplié).

Conclusion

Les différentes études effectuées montrent bien les difficultés techniques rencontrées lors de la mesure des particules en suspension et la prudence que l'on doit apporter à l'exploitation des résultats obtenus. Même si elle n'a aucun caractère réglementaire pour l'instant, l'utilisation d'appareils comptant les particules en fonction de leur taille est aujourd'hui primordiale pour évaluer les risques sanitaires chez l'homme car de leur taille dépendent largement les effets sur la santé.

Les auteurs attirent l'attention des lecteurs sur le fait que les résultats obtenus doivent être considérés avec prudence.

Pour l'étude des sites, les évolutions dans le temps des concentrations de particules sont corrélées pour des sites différents, surtout pour les particules fines. Celles-ci se répartissent de manière plus homogène que les autres dans l'environnement.

Les différences de concentrations rencontrées en fonction du lieu de prélèvement montrent les précautions à prendre lorsqu'on choisit les lieux d'implantation des capteurs en fonction de ce que l'on souhaite surveiller (pollution de fond, de proximité). Cette implantation sera d'autant plus importante dans le cas où les résultats doivent servir à l'estimation de l'exposition des individus

et d'une population et, si nécessaire, à une démarche complète d'évaluation des risques. Cette estimation doit prendre en compte chaque environnement traversé au cours de la journée par chacun d'entre nous [9].

Remerciements

Les auteurs remercient l'ASCOPARG (Association pour le contrôle et la préservation de l'air dans la région grenobloise), qui gère le réseau de mesure de la pollution atmosphérique dans cette région, pour leur assistance technique (prêt d'un GRIMM) et leurs conseils, Y. Lacoste pour son aide lors de la rédaction de ce rapport, ainsi que le Conseil Général de l'Isère qui par le soutien qu'il apporte au Comité Dauphiné-Savoie de l'APPA, a permis la réalisation de cette étude.

Mots clés

Particules en suspension. Prélèvements. Granulométrie.

Keywords

Suspended particles. Samples. Granulometry.

Bibliographie

1. Brook JR, Dann TF, Burnett RT. The relationship Among TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and Inorganic Constituents of Atmospheric Particulate Matter at Multiple Canadian Locations. *J Air Waste Manag Assoc* 1997 ; 47.
2. Burton RM, Suh HH, Koutrakis P. Spatial Variation in Particulate Concentrations within Metropolitan Philadelphia. *Environ Sc Technol* 1996 ; 30 (2).
3. Wilson WE, Suh HH. Fine Particles and coarse Particles : Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies. *Soumis à publication* (J Air & Waste Manag Assoc).
4. Société Française de Santé Publique. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. Bilan de 15 ans de recherche internationale. Collection Santé et Société n° 4, 1996.
5. Quarg. Airborne Particulate Matter in the United Kingdom, Third Report of the Quality of Urban Air Review Group, Departement of Environment, London, May 1996.
6. Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Particules fines en suspension dans l'atmosphère, Effet sur la santé et proposition pour une révision des valeurs limites. Ministère des Affaires Sociales, de la Santé et de la Ville, Paris 1993.
7. Bailey MR. The new ICRP model for the respiratory tract. National Radiological Protection Board, UK 1994.

8. Harrison RM, Deacon AR, Jones MR, Appleby RS. Sources and Processes Affecting Concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} Particulate Matter in Birmingham (UK). *Atmospheric Environment* 1997 ; 31 (24).
9. Boudet C, Déchenaux J, Balducci F, Masclet P, Zmirou D. Total personal exposure to fine particulate matter in a urban adult population : the role of ambient air and transport. *International Journal of Vehicle Design* 1998 ; 20 (1-4) : 30-8.