

MESURE DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE AUX PARTICULES FINES GRACE A DES CAPTEURS PORTABLES

J. Chesneau^{*1}, S. Crumeyrolle², L. Dauchet³ et B. Hanoune¹

¹Univ. Lille, CNRS, UMR 8522 – PC2A – Physicochimie des Processus de Combustion et de l'Atmosphère, F-59000 Lille, France

²Univ. Lille, CNRS, UMR 8518 – LOA – Laboratoire d'Optique Atmosphérique, F-59000 Lille, France

³Univ. Lille, Inserm, CHU Lille, Institut Pasteur de Lille, U1167 - RID-AGE - Facteurs de risques et déterminants moléculaires des maladies liées au vieillissement, F-59000 Lille, France

*Courriel de l'orateur : jerome.chesneau@univ-lille.fr

TITLE

Measuring individual exposure to particulate matter with portable sensors

RESUME

Le projet PAMELA (Particules Atmosphériques : Mesures de l'Exposition Individuelle à Lille et aux Alentours) a pour objectifs de mesurer l'exposition individuelle des habitants de la métropole Lilloise aux particules fines, de la relier aux environnements parcourus et aux activités réalisées par ceux-ci et de sensibiliser la population aux problématiques qualité de l'air. Dans ce but nous développons des capteurs de particules portables (de 0.3 µm à 10 µm) capables de reconnaître les micro-environnements et les activités de d'utilisateurs volontaires sans prérequis scientifiques sur une semaine.

ABSTRACT

The PAMELA project (Atmospheric Particles: Measurements of the Individual Exhibition in Lille and the Surroundings) aims to measure the individual Lille metropolis inhabitant's exposure to fine particles then to link it to various environments and activities and raise awareness to air quality issues. For this purpose, we are developing portable particle sensors (from 0.3 µm to 10 µm) able to recognize the micro-environments browsed and the activities performed by voluntary users without scientific prerequisites over a week.

MOTS-CLES : Aérosols, exposition individuelle, capteurs portables, micro-environnements / **KEYWORDS** : Aerosols, individual exposure, portable sensors, micro-environments

1. INTRODUCTION

L'Organisation Mondiale de la Santé estime que la pollution atmosphérique fait environ 7 000 000 de morts/an, ce qui en fait le principal risque environnemental. L'impact sur la santé de l'exposition aux aérosols atmosphériques a fait l'objet d'études où ont été mis en évidence, parmi les pathologies les plus courantes, des problèmes cardiovasculaires et respiratoires (Sanyal *et al*, 2018). Des études épidémiologiques ont montré que même les individus sains étaient impactés (Dauchet *et al*, 2018). Afin de mener des politiques dans le but de limiter l'impact sanitaire et économique des particules fines, il faut connaître leurs sources et l'exposition des populations. De nombreux travaux ont été réalisés afin d'identifier sources et natures physicochimiques des aérosols dans différents environnements (maison, bureau, rue, restaurants, marchés, etc...) et/ou produits par des activités telles que la cuisine ou le ménage (Hwang et Lee, 2017). Néanmoins, l'exposition aux particules fines dans les études épidémiologiques est estimée avec l'hypothèse que les concentrations en particules dans l'air respiré par les sujets sont égales à celles estimées à l'extérieur de la porte de leur domicile. Ces concentrations sont estimées à partir de modèles de qualité de l'air extérieur, alimentés par des mesures de qualité de l'air, toujours en extérieur. Cette approche ignore l'impact des environnements intérieurs (bureau, maison, métro, voiture, etc...) alors qu'on y passe environ 80% de notre temps. Elle ignore également l'impact d'activités telles que la cuisine, le ménage, etc... En conséquence, il y a de fortes incertitudes sur les résultats des études épidémiologiques traitant de l'impact de la qualité de l'air. Dans le cadre du cluster santé et environnement de l'I-SITE ULNE et du projet APOLLINE (Air POLLution and INdividual Exposure, pour lequel un site internet a été créé : <https://www.apolline.science>), le projet PAMELA (Particules Atmosphériques : Mesures de l'Exposition Individuelle à Lille et aux Alentours) a été monté afin de mesurer les concentrations en particules dans l'air respiré par la population de la métropole Lilloise, connaître les caractéristiques (humidité, température, etc...) des logements, déterminer les facteurs environnementaux et les activités clés de l'exposition aux particules fines, évaluer les parts respectives des environnements intérieurs et extérieurs sur celle-ci et proposer des améliorations méthodologiques et techniques aux futures études épidémiologiques. Les mesures seront réalisées par plusieurs centaines de volontaires en région lilloise à l'aide de capteurs de particules portables. Ces mesures seront complétées par d'autres mesures environnementales telles que la température, l'humidité relative ou la pression, ainsi qu'un budget Espace-Temps-Activités et un questionnaire sur le logement à remplir par les volontaires. Pour chaque volontaire, la période de mesure s'étendra sur une semaine.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Des capteurs portables de particules fines (figure 1) ont été développés par le PC2A et le LOA. Ils mesurent 8cm x 5cm x 5cm et sont constitués d'un capteur optique de particules fines HK-A5 qui mesure le nombre de particules d'un diamètre compris entre 0.3 et 10 μm , répartis sur 6 canaux de tailles ($D \geq 0.3\mu\text{m}$, $D \geq 0.5\mu\text{m}$, $D \geq 1\mu\text{m}$, $D \geq 2.5\mu\text{m}$, $D \geq 5\mu\text{m}$, $D \geq 10\mu\text{m}$) ainsi que la concentration massique en PM1, PM2.5 et PM10, d'un capteur de température et d'humidité relative AM230 à la surface du boîtier, d'un capteur de température et d'humidité relative HDC 1080 et d'un capteur de température et de pression DPS310 à l'intérieur du boîtier, d'une puce GPS pour accéder aux coordonnées GPS du capteur, à sa vitesse de déplacement et au nombre de satellites avec lesquels elle peut communiquer, d'une carte mère Arduino dont le software est écrit avec le langage de programmation open source C, d'une carte SD sur laquelle sont enregistrées les mesures, d'un système Bluetooth et d'une batterie permettant 10 heures d'autonomie. Un capteur coûte environ 200 euros.

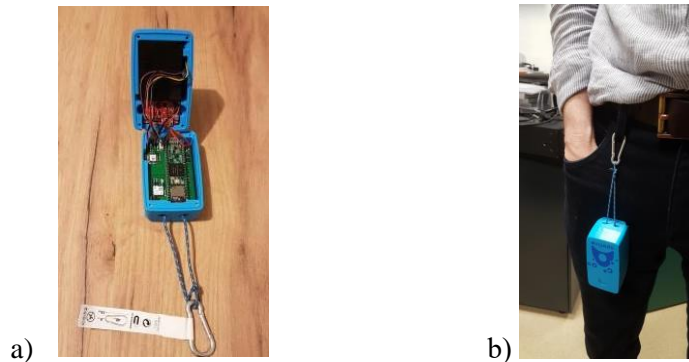


Figure 1. a) intérieur des capteurs b) capteur porté par un volontaire

Les capteurs sont calibrés en les installant sur la plateforme de mesures atmosphériques ATOLL - ATmospheric Observations in lILLE (<http://www.loa.univ-lille1.fr/observations/plateformes.html>) qui fait partie du réseau ACTRIS. Les concentrations massiques en PM2.5 et PM10 sont calibrées avec un FIDAS. La concentration massique en PM1 ainsi que le nombre de particules d'un diamètre supérieur à 0.3 μm et 0.5 μm sont calibrés avec un SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) et un ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor). Les calibrations en température, pression et en humidité relative sont réalisées avec la station météorologique.

Avec une population d'environ 1 200 000 habitants en 2019 selon l'INSEE (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1405599?geo=EPCI-200093201>), environ 400 volontaires minimum devront être recrutés afin d'assurer la représentativité de l'échantillon à un seuil de confiance 95%. Les volontaires n'auront aucun moyen de visualiser leur exposition et d'altérer leur comportement en fonction de ceci avant de recevoir un retour du laboratoire.

La calibration, le nettoyage des données et leurs analyses sont réalisées à l'aide de programmes développés au laboratoire grâce au langage de programmation en open source R. Une correction de la concentration massique en PM2.5 (Marlings *et al*, 2020) est réalisée suivant l'humidité relative et la température. La séparation des environnements dans lesquels les données ont été obtenues sont réalisées grâce à l'utilisation d'une méthode de segmentation automatique utilisant les mesures non particulières (température, humidité relative, pression, nombre de satellites visibles, vitesse, coordonnées GPS, niveau de batterie, variations de ces paramètres, etc...) disponibles dans le package R « changepoint » (Killick *et al*, 2012) et par le budget Espace-Temps-Activités. L'identification des environnements est réalisée à partir du budget Espace-Temps-Activités s'il est suffisamment rempli.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La figure 2 présente 24h de données obtenues grâce à un bêta-testeur. Les plus fortes concentrations mesurées sont des pics qui correspondent aux moments où le volontaire a fumé des cigarettes. En-dehors de ces pics, les plus fortes concentrations mesurées sont à son domicile le matin (jusqu'à 8h10) et dans sa voiture (de 8h10 à 9h30). Le volontaire était dans une bibliothèque de 9h30 à 15h30 avec une pause déjeuner dans un environnement non renseigné entre 11h30 et 13h. A 15h30 le volontaire est allé dans un bureau pour travailler et n'a plus renseigné le budget Espace-Temps-Activités. Deux segmentations ont été représentées. L'une à partir du budget ETA et l'autre à partir de la procédure R appliquée à la pression. Ce paramètre est actuellement le plus indicatif d'un changement d'environnement et permet, en plus d'un budget suffisamment complet, de couvrir la plupart des changements d'environnement et de les identifier. Nous observons que le nombre de changements d'environnements trouvés par la procédure R est plus important que le ce qui est indiqué sur le budget ETA. Cela peut correspondre à des oublis du volontaire (multiples stations de métro lors d'un trajet) ou à des environnements et des activités sursegmentés par la procédure (trajet en voiture).

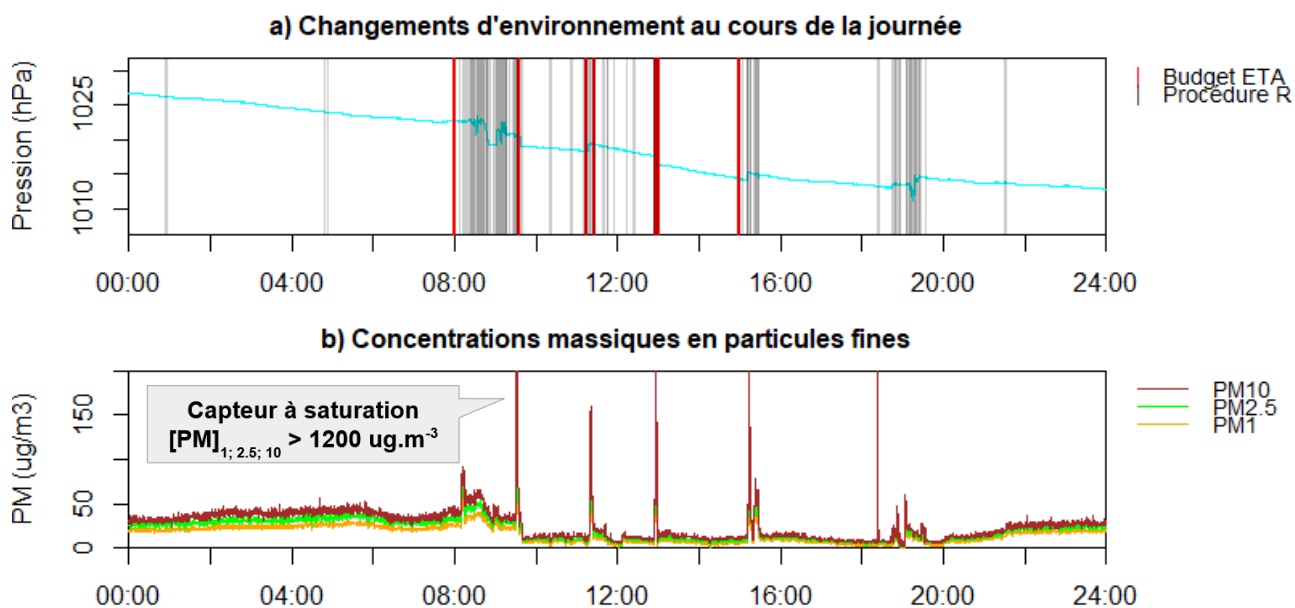


Figure 2. a) Segmentation des données b) Concentrations en particules fines au cours du temps
Capteur #10, 24 nov 2021

La figure 3 présente les concentrations moyennes en particules fines auxquelles a été exposé le volontaire en fonction des principaux environnements. Les plus fortes concentrations ont été mesurées chez lui, dans sa voiture et en extérieur. 64% de la journée du volontaire a été passée en intérieur avec certitude contre 2% pour l'extérieur et 34% dans un environnement non renseigné. La voiture est considérée comme un environnement intérieur dans ces calculs en raison de son atmosphère confinée ou semi-confinée.

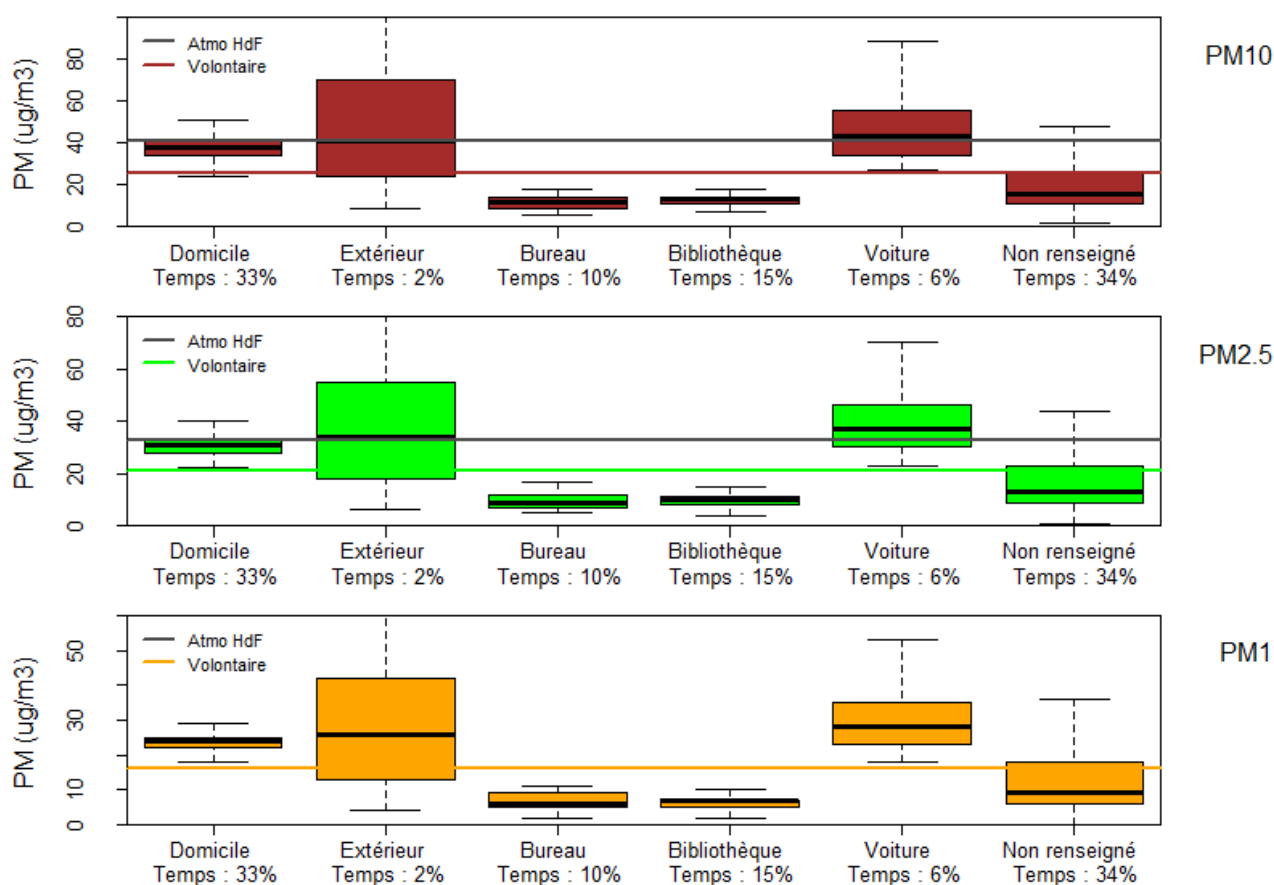


Figure 3. Exposition du volontaire dans les principaux environnements.
Capteur #10, 24 nov 2021

L'exposition mesurée sur toute la journée est plus faible que celle estimée à partir des données d'Atmo Haut-de-France. Pour les PM10, la mesure montre une concentration de 26 $\mu\text{m}.\text{m}^{-3}$ de particules contre 41 $\mu\text{m}.\text{m}^{-3}$ pour l'estimation d'Atmo HdF. Pour les PM2.5, la mesure indique 21 $\mu\text{m}.\text{m}^{-3}$ contre 31 $\mu\text{m}.\text{m}^{-3}$ estimés. Enfin, la mesure du PM1 indique 16 $\mu\text{m}.\text{m}^{-3}$ mais ne peut pas être comparée aux données de l'AASQA car inexistantes. La mesure indique une exposition plus faible de 37% pour les PM10, de 36% pour les PM2.5 et donne une valeur pour les PM1. Ainsi, s'il existe un bon accord entre les données de mesures en extérieur et Atmo HdF, les concentrations mesurées par l'AASQA ne sont pas représentatives de l'exposition réelle du volontaire malgré leurs utilisations dans les estimations au pas de la porte que font les études épidémiologiques. Les valeurs mesurées ne concernent néanmoins que ce volontaire à cette date, et il est attendu que les concentrations enregistrées par les capteurs dépendent fortement de paramètres tels que le type de domicile des volontaires, son état d'entretien, le lieu de travail des volontaires, leurs habitudes de vie, leurs moyens de transports de prédilection, la météo sur la période de mesures, etc...

4. CONCLUSION

Les outils de mesure développés dans le cadre du projet PAMELA sont opérationnels et permettent de mesurer l'exposition individuelle des volontaires même si leur comportement à long terme n'a pas encore été évalué. Le déploiement à grande échelle sera bientôt réalisé. Les outils de traitement des données demandent encore du développement avant d'être pleinement opérationnels et de pouvoir traiter les nombreuses données issues des mesures réalisées. Bien que le laboratoire développe l'outil et traite les données, leur acquisition est réalisée exclusivement par les volontaires en autonomie et quelques problèmes ont été rencontrés par les bêta-testeurs. L'expérience acquise avec eux a montré qu'il faut améliorer notre communication envers eux pour s'assurer de la bonne utilisation du capteur et du respect du protocole de mesure.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été financés par le gouvernement Français au travers du Programme Investissement d'Avenir (I-SITE ULNE / ANR-16-IDEX-0004 ULNE) géré par l'Agence Nationale de la Recherche car ils font partie du projet "Santé Environnement : du risque territorial au risque individuel" (également financé par la Métropole Européenne Lille). Ces travaux font partie du projet CaPPA (Chemical and Physical Properties of the Atmosphere), financé par l'Agence Nationale de la Recherche Française (ANR) au travers du PIA (Programme Investissement d'Avenir) avec le contrat ANR-11-LABX-005-001. Ces travaux s'inscrivent aussi dans l'Institut de Recherches Pluridisciplinaires en Sciences de l'Environnement (IRePSE Fed 4129) et dans le projet de recherche CPER CLIMIBIO, avec les financements du ministère Français de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, de la région Haut-de-France et des Fonds Européens pour le Développement Economique Régional. L'auteur principal (J. Chesneau) souhaite remercier en particulier le projet CaPPA et l'Université de Lille pour le financement de son Doctorat.

REFERENCES

- Dauchet, L., Hulo, S., Cherot-Kornobis, N., Matran, R., Amouyel, P., Edmé, J. L. & Giovannelli, J. (2018). Short-term exposure to air pollution : Associations with lung function and inflammatory markers in non-smoking, healthy adults. *Environment International*, 121, 610-619.
- Hwang, Y. & Lee, K. (2018). Contribution of microenvironments to personal exposures to PM10 and PM2.5 in summer and winter. *Atmospheric Environment*, 175, 192-198.
- Killick, R., Fearnhead, P. & Eckley, I. A. (2012). Optimal Detection of Changepoints With a Linear Computational Cost. *Journal of the American Statistical Association*, 107(500), 1590-1598.
- Malings, C., Tanzer, R., Hauryliuk, A., Saha, P. K., Robinson, A. L., Presto, A. A. & Subramanian, R. (2019). Fine particle mass monitoring with low-cost sensors : Corrections and long-term performance evaluation. *Aerosol Science and Technology*, 54(2), 160-174.
- Sanyal, S., Rochereau, T., Maesano, C., Com-Ruelle, L. & Annesi-Maesano, I. (2018). Long-Term Effect of Outdoor Air Pollution on Mortality and Morbidity : A 12-Year Follow-Up Study for Metropolitan France. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2487.