

PROPRIETES INTRINSEQUES ET BIOLOGIQUES COMPAREES DE PARTICULES (PM₁₀) ISSUES DE L'AIR INTERIEUR : PARTICULES DOMESTIQUES VERSUS PARTICULES D'ENCEINTES FERROVIAIRES SOUTERRAINES.

V. André^{1*}, I. Pottier¹, C. El Hajjar¹, V. Seguin¹, T. Rogez² et H. Carrilho³

¹ Normandie Univ, UNICAEN, UNIROUEN, ABTE, 14000 Caen, France

² Normandie Univ, UNICAEN, UNIROUEN, ABTE, 76000 Caen, France

³ Agence d'essai ferroviaire (AEF), 94407 Vitry sur Seine, France

*Courriel de l'orateur : veronique.andre@unicaen.fr

TITLE

Comparative intrinsic and biological properties of indoor particles matter (PM₁₀): domestic- versus underground railway station particles

RESUME

Les polluants de l'air intérieur contribuent au développement de pathologies respiratoires et cardiovasculaires. Les particules inhalées contribuent de façon importante à ces effets sanitaires notamment selon des mécanismes pro-oxydants et pro-inflammatoires. Nous avons évalué les teneurs en métaux et en endotoxines ainsi que le potentiel oxydant intrinsèque de PM₁₀ d'origine domestique (SRM[®] 2585), ainsi que leurs effets biologiques déterminés *in vitro* sur des cellules primaires bronchiques humaines (NHBE). Ces particules contiennent des endotoxines (26,6 UE/mg) et présentent un pouvoir oxydant intrinsèque principalement associé à leur fraction organique. L'induction précoce de cytokines pro-inflammatoires observée après 24 h d'exposition est transitoire et laisse place après 72 h d'exposition à une diminution significative à toutes les doses de PM₁₀ pour l'IL-1 β et aux plus fortes doses pour l'IL-6, associée à une diminution de la viabilité cellulaire.

Des particules échantillonnées dans une station souterraine du réseau francilien sont actuellement en cours d'analyses. Les comparaisons seront effectuées avec les particules domestiques afin d'identifier les propriétés intrinsèques les plus étroitement associées aux réponses biologiques.

ABSTRACT

Indoor air pollutants contribute to the development of respiratory and cardiovascular diseases. Inhaled particles contribute significantly to these health effects in particular through pro-oxidant and pro-inflammatory mechanisms. We evaluated the metal and endotoxin contents as well as the intrinsic oxidative potential of PM₁₀ of domestic origin (SRM[®] 2585), as well as their biological effects determined *in vitro* on normal human bronchial cells (NHBE). These particles contain endotoxins (26.6 EU/mg) and exhibit an intrinsic oxidative potential mainly associated with their organic fraction. Early induction of pro-inflammatory cytokines after 24 h exposure of NBHE cells to PM₁₀ is transient. Indeed, after 72 h exposure, a significant decrease in IL-1 β secretion levels is observed for all doses, and for IL-6, only at the highest doses and associated with a decrease in cell viability. Particles sampled in an underground station are currently being analyzed. Comparisons will be made with domestic particles to identify the intrinsic properties most closely associated with biological responses.

MOTS-CLÉS : Air intérieur, Particules inhalables; PM₁₀, Potentiel oxydant, Inflammation / **KEYWORDS**: Indoor air, Respirable particulate matter, PM₁₀, Oxydative potential, Inflammation

1. INTRODUCTION

L'inhalation de polluants présents dans l'air intérieur (habitations, lieux de travail, transports etc...) peut avoir des répercussions sur la santé et participe au développement de pathologies respiratoires et cardiovasculaires, à l'origine d'environ 20.000 décès prématurés par an en France (Boulanger *et al* (2017)). Les polluants particuliers jouent un rôle prépondérant. Les mécanismes d'action les plus fréquemment décrits pour expliquer les effets sanitaires sont des effets pro-oxydants et pro-inflammatoires. Les particules inhalables présentent toutefois une grande diversité de sources, de nature et donc de caractéristiques physico-chimiques, susceptibles de moduler les réponses toxiques. Nous avons donc évalué les caractéristiques intrinsèques (granulométrie, teneurs en métaux et en endotoxines, potentiel oxydant intrinsèque) de particules d'origine domestique. Leurs effets biologiques sur la viabilité cellulaire et la réponse inflammatoire ont ensuite été déterminés *in vitro* sur un modèle trachéobronchique humain (El Hajjar *et al* (2022)). Un travail similaire est en cours à partir de particules échantillonnées dans une enceinte souterraine ferroviaire (EFS). L'objectif du travail est de comparer les profils obtenus pour ces deux types de particules et d'identifier les paramètres physicochimiques les plus à même de rendre compte des effets biologiques observés.

2. DESCRIPTIF DES ECHANTILLONS ET DES ANALYSES

2.1. Echantillon de poussières domestiques (SRM 2585)

Le SRM-2585 est un matériau de référence (NIST®) issu de poussières sédimentées récoltées dans des habitations (< 100 µm) et caractérisé pour son contenu en polluants organiques (« Organic contaminants in house dust »). Il est issu de poussières récoltées dans des habitations (maisons et hôtels) et contient plus de 160 substances organiques (NIST, 2018) correspondant à diverses familles de composés toxiques aux mécanismes d'action variés (hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), biphenyls polychlorés (PCB), pesticides chlorés, diphenylether polybromés (PBDE), muscs synthétiques, alkyls perfluorés (PFAAs), retardateurs de flamme phosphorés).

La fraction PM₁₀, susceptible d'atteindre l'étage trachéobronchique, a été isolée et fait l'objet de la présente étude.

2.2. Echantillon de poussières prélevées dans une enceinte ferroviaire souterraine

Des prélèvements ont été réalisés sur plusieurs jours consécutifs dans une enceinte ferroviaire souterraine, par pompage d'air sur des durées de 6,5 h à 20 h par jour. Le dispositif utilisé est un appareil Coriolis® compact (Bertin Technologies SAS, France) utilisant la force cyclonique et permettant de récupérer des particules de diamètre aérodynamique situé entre 500 nm et 10 µm, en milieu sec. L'appareil a été placé sur le quai de l'EFS et le réceptacle stérile a été changé chaque jour

2.3. Analyses physico-chimiques et biologiques

Pour chaque type d'échantillon, la granulométrie (microscopie électronique à transmission, Figure 1), la présence de métaux (microscopie électronique avec analyse élémentaire), le taux d'endotoxines (dosage par méthode LAL) ainsi que le potentiel oxydant intrinsèque (déplétion en dithiothréitol (DTT) et en acide ascorbique (AA)) ont été déterminés en conditions acellulaires.

Les effets biologiques ont été déterminés *in vitro* vis-à-vis de cellules primaires normales trachéobronchiques humaine (cellules NHBE), après 24 h et 72 h d'exposition en conditions immergées à différentes concentrations (1,1 - 110 µg/mL) de ces particules en suspension.

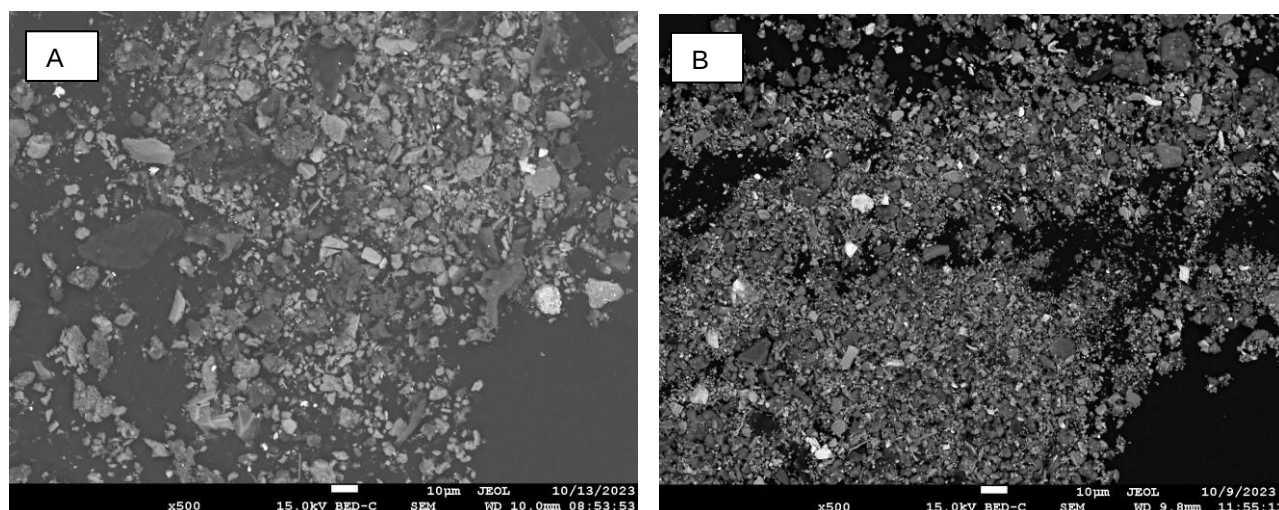


Figure 1. Microscopie électronique à transmission (MET) des poussières domestiques (A) et des poussières issues des EFS (B).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les endotoxines sont reconnues pour posséder un pouvoir pro-inflammatoire. Les taux mesurés sont 6,5 fois plus élevés dans les PM₁₀ d'origine domestique comparés à ceux obtenus avec les particules d'EFS (26,6 UE/mg et 4,1 UE/mL respectivement). L'analyse élémentaire comparée montre des teneurs en fer, aluminium et silicium plus élevées dans les particules d'EFS, tandis qu'à l'inverse, la fraction en carbone, sodium et calcium est plus importante dans les particules d'origine domestique.

Ces dernières présentent par ailleurs un potentiel oxydant (PO) intrinsèque puisqu'en conditions acellulaires, elles conduisent à la déplétion de deux composés antioxydants, l'acide ascorbique et le dithiothréitol. L'effet est plus important vis-à-vis de ce dernier, indiquant que le PO est principalement associé à la fraction organique présente à la surface de ces particules.

La viabilité des cellules NHBE a été mesurée après 24 h et 72 h d'exposition à des concentrations de particules domestiques allant de 1,1 mg/mL à 110 mg/mL (Figure 2). Une diminution significative, bien que modérée, et dose-dépendante est observée après 24 h d'exposition, mais ne persiste après 72 h d'exposition que pour les deux plus fortes concentrations testées.

D'un point de vue de la réponse inflammatoire (Figure 2), les taux de sécrétion d'IL-1 β et d'IL-6 sont significativement augmentés après 24 h d'exposition, excepté pour la plus forte dose de PM₁₀. Après 72 h d'exposition, le niveau d'IL-6 revient à un niveau comparable à celui mesuré dans les Témoins négatifs (cellules NHBE non exposées), sauf pour les 2 plus fortes doses pour lesquelles une diminution significative est observée. C'est également le cas et avec une amplitude plus marquée pour l'IL-1 β à toutes les doses testées.

La sécrétion accrue de cytokines est donc une réponse rapide des cellules à la présence des poussières domestiques, et potentiellement des endotoxines qu'elles transportent. Cette réponse cellulaire n'est toutefois que transitoire, puisqu'après 72 h d'exposition, une inhibition significative de la sécrétion d'IL-6 est observée aux deux plus fortes doses, qui pourrait être en lien avec la baisse de viabilité associée. Cette inhibition est également observée pour l'IL-1 β , quel que soit le niveau d'exposition.

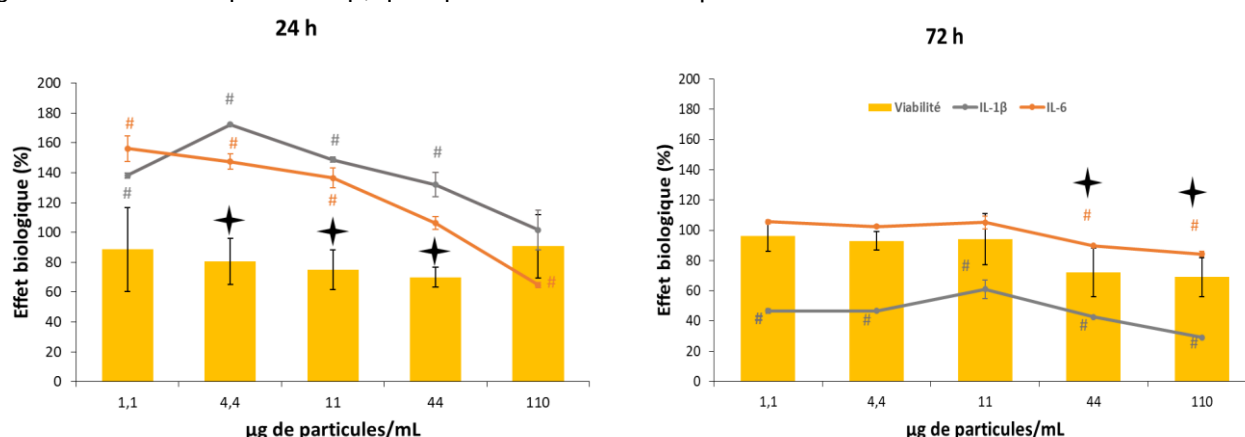


Figure 2. Effets biologiques des poussières domestiques sur les cellules NHBE après 24 h et 72 h d'exposition. La viabilité apparaît sous forme d'histogramme et les sécrétions de cytokines (IL-1 β et IL-6) sous forme de graphe. Les résultats sont exprimés en pourcentage des réponses obtenues avec les cultures Témoin non exposées. + Viabilité significativement diminuée ; # niveau de cytokine significativement différent de celui du Témoin. $p < 0,05$ (Adapté de El Hajjar *et al* (2022)).

Des analyses équivalentes (PO et réponses cellulaires) sont actuellement en cours avec les particules échantillonnées sur le quai d'une station souterraine du réseau francilien. Les comparaisons seront effectuées avec celles présentées ci-dessus et les propriétés intrinsèques les plus étroitement associées aux profils des réponses biologiques seront ainsi identifiées.

4. REFERENCES ET REMERCIEMENTS

Boulanger, G., Bayeux, T., Mandin, C., Kirchner, S., Vergriette, B., Pernelet-Joly, V. and Kopp, P. (2017). Socio-economic costs of indoor air pollution: A tentative estimation for some pollutants of health interest in France. *Environ Int.*, 104, 14-24. Doi: [10.1016/j.envint.2017.03.025](https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.03.025)

El Hajjar, C.; Rogez-Florent, T.; Seguin, V.; Verdin, A.; Garon, D.; Pottier, I. and André, V. (2022). Intrinsic Characteristics and Biological Effects of Standard Reference Indoor Dust SRM® 2585 and Its Inhalable Subfractions PM₁₀ and PM_{2.5}. *Atmosphere*, 13, 1818. Doi: [10.3390/atmos13111818](https://doi.org/10.3390/atmos13111818)

NIST (National Institute of Standards and Technology). Certificate of Analysis for Standard Reference Material 2585 (SRM®2585), Organic Contaminants in House Dust, Updated in 2018. Available online: https://www.nist.gov/srmors/view_detail.cfm?srm=2585.

Ce travail bénéficie d'un financement par l'Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) sous la convention 20ESC0002.