

Les particules ultrafines en milieu de travail : une exposition insuffisamment maîtrisée

Ludwig VINCHES et Stéphane HALLÉ | ludwig.vinches@gmail.com

École de technologie supérieure - Département de génie mécanique – Montréal - Canada

Mots clés : aérosols, centre de photocopiers, entreposage de produits chimiques, mesure d'exposition, milieu de travail, nanoparticules, particules ultrafines

Du fait de leur utilisation quasi-généralisée dans tous les secteurs économiques (énergie, pharmaceutique, électronique, agroalimentaire, etc.), les particules nanométriques font l'objet de contrôles de plus en plus rigoureux et systématiques dans les milieux de travail (1). En parallèle des études sur leur toxicité potentielle, de nombreux projets de recherche sont initiés sur les moyens à mettre en place pour limiter l'exposition des travailleurs (2). Les particules nanométriques sont classées en deux grandes catégories: les particules ultrafines (PUF) qui sont produites involontairement et les nanoparticules (NPM) qui sont manufacturées. Bien que l'industrie utilise de plus en plus de NPM en solution pour limiter leur passage dans l'air ambiant, certains procédés de fabrication ont encore recours à leurs formes aérosolisées ou en poudre. D'autre part, dans certains cas, les travailleurs sont exposés à des PUF sans en avoir conscience, par exemple dans le nettoyage de fours industriels, dans les garages automobiles (émanations de moteur diesel) ou encore lors d'opérations de soudage (3).

Le premier article rapporte des travaux récents menés sur l'exposition aux PUF de travailleurs et de clients d'un centre de photocopiers. Il fait état de concentrations significatives de particules dans l'air en lien avec les particules incorporées dans les poudres des cartouches d'encre. La deuxième publication démontre l'importance des polluants secondaires sous forme de PUF pouvant être générés à partir de composés organiques volatils (COV). Les deux publications mettent en évidence le manque d'information relative aux PUF ainsi que les moyens à mettre en œuvre pour s'en protéger.

Exposition professionnelle aux nanoparticules dans les centres de photocopiers

Martin J, Bello D, Bunker K, Shaferd M, Christiani D, Woskie S, Demokritou P. Occupational exposure to nanoparticles at commercial photocopy centers. *Journal of Hazardous Materials* 2015; **298** : 351-360

Résumé

Les encres en poudre (toner) utilisées dans les photocopiers sont une source importante de particules ultrafines (4,5). Cependant la composition physico-chimique de ces particules reste très peu étudiée. Dans cet article, les auteurs ont réalisé des caractérisations chimique et morphologique de ces PUF produites en une semaine, dans huit centres de photocopiers (Boston – États-Unis). Les mesures et les caractérisations des particules ont été réalisées, en autres, à l'aide de microscopes électroniques, de spectromètres infrarouge et de masse ou encore à l'aide de compteurs et d'analyseurs de particules en temps réel. Des analyses de carbone élémentaire et organique ont aussi été menées.

Les concentrations numériques mesurées pendant les heures d'ouverture s'échelonnent de 3700 à 34 000 particules/cm³. Elles sont jusqu'à 12 fois supérieures aux mesures réalisées

pendant les heures de fermeture. Les analyses chimiques indiquent une présence majoritaire de carbone organique (jusqu'à 63%), moins de 1% de carbone élémentaire et de 2 à 8% de métaux comme le fer, le zinc, l'oxyde de titane, etc. La composition chimique des particules dans l'air correspond à la composition chimique des encres en poudre et la taille des particules varie entre 28 et 38 nm.

Commentaire

Ces travaux mettent en évidence l'exposition des travailleurs et de la clientèle aux nanoparticules contenues dans les encres en poudre et aux PUF produites lors de l'utilisation des photocopiers.

Bien que documentée en milieu de travail et environnemental depuis quelques années, l'étude de l'exposition aux PUF a souvent délaissé la question de leur composition chimique et de leur morphologie. Les auteurs ont mis ici l'accent sur une caractérisation rigoureuse à l'aide de techniques de pointe comme la microscopie électronique ou encore la spectrométrie.

Comme l'indiquent les auteurs dans leur conclusion, ils n'ont pu s'affranchir d'une possible contamination extérieure par des particules non issues de l'utilisation des photocopiers. Ces

particules peuvent provenir, entre autres, de l'extérieur du centre de photocopie comme les particules de diesel produites lors de la combustion des énergies fossiles (circulation automobile). Des mesures additionnelles à proximité des centres auraient possiblement permis de mieux caractériser le bruit de fond. Des paramètres essentiels reliés à la mesure d'aérosols de taille nanométrique n'ont pas non plus été pris en compte. C'est le cas du taux d'humidité par exemple qui joue pourtant un rôle déterminant dans la morphologie des particules et en particulier sur leur agrégation et agglomération.

Cette étude pose toutefois les bases d'études plus approfondies tant sur la mesure des concentrations en PUF, mais aussi sur les effets à long terme de ces PUF sur la santé.

Formation de nanoparticules dans une salle de stockage de produits chimiques vu comme une nouvelle source accidentelle de nanoaérosols dans un lieu de travail avec des nanomatériaux

Kim KH, Kim JB, Ji JH, Lee SB, Bae GN. Nanoparticle formation in a chemical storage room as a new incidental nanoaerosol source at a nanomaterial workplace. *Journal of Hazardous Materials* 2015; **298** : 36-45.

Résumé

Dans cette étude, des mesures sont menées en différents endroits d'un local d'entreposage de produits chimiques situé à proximité d'un poste de synthèse de nanotubes de carbone. Certaines mesures sont prises en continu de façon à mettre en évidence leur variation dans le temps. Elles sont effectuées à l'aide de différents appareils à lecture directe permettant de déterminer la distribution en taille, le nombre, la concentration massique ou encore la concentration surfacique de particules. À cela s'ajoutent des mesures de concentrations en COV. Sept scénarii ont été étudiés en prenant en compte notamment l'effet de la ventilation (en fonctionnement ou pas) et l'effet de l'ouverture partielle de la porte donnant accès à la zone d'entreposage.

Les mesures réalisées ont permis d'identifier les sources générant les particules et les concentrations dans la salle de stockage de produits chimiques. Les auteurs remarquent que les concentrations en PUF dans le local d'entreposage des produits chimiques sont supérieures aux concentrations mesurées dans la zone de fabrication des nanotubes de carbone.

De plus, les auteurs estiment le taux de génération de PUF 63,8 particules/cm³/s. La géométrie sphérique des particules mesurées – diamètre de 70 nm en moyenne – permet de confirmer que les COV oxygénés peuvent être à l'origine de la formation de nanoaérosols par un phénomène de conversion gaz-particules.

Commentaire

Ce second article souligne la possibilité de génération non intentionnelle de particules ultrafines à partir de produits chimiques entreposés par le phénomène de conversion gaz-particules.

Les auteurs ont mesuré les concentrations en COV en lien avec la génération de PUF. Ces travaux démontrent, entre autres, l'importance du fonctionnement du système de ventilation qui permet de diminuer la concentration en PUF. Cette concentration diminue significativement en présence d'une porte partiellement ouverte, et qui conduit à la contamination du local adjacent.

Le design de l'étude a permis une cartographie précise et une meilleure compréhension des phénomènes de diffusion selon les scénarios envisagés.

Bien que des tests de reproductibilité aient été réalisés, des paramètres importants n'ont pas été pris en compte comme le taux de changement d'air dans les locaux, la vitesse de l'air, la température ainsi que le taux d'humidité qui peut avoir une influence significative sur l'état d'agglomération des particules.

CONCLUSION GÉNÉRALE

De plus en plus de moyens sont mis en œuvre pour mesurer les concentrations en NPM sur les lieux de travail et en particulier dans les laboratoires de recherche et chez les producteurs de NPM. Cependant, la mesure de l'exposition aux particules ultrafines produites non intentionnellement reste encore peu documentée mis à part quelques exceptions comme les particules issues de moteurs diesel ou les particules issues de procédés de soudage.

Au vu des résultats et des conclusions présentés dans ces deux études, il apparaît important d'identifier les sources possibles de PUF pour différentes activités professionnelles. D'autre part, il est urgent de parfaire nos connaissances sur les mécanismes de formation des PUF secondaires en milieu de travail (processus physiques et chimiques).

Il serait intéressant de généraliser ce type de mesures afin de compléter une base de données déjà existante sur les concentrations mesurées en PUF en fonction des différents secteurs d'activité. Cela permettrait de poursuivre les études initiées dans le cadre du dispositif de surveillance épidémiologique des travailleurs potentiellement exposés aux nanomatériaux (Épinano) mis en place par l'InVS et ses partenaires. Les résultats permettraient aussi de guider les industriels et les laboratoires de recherche, dans l'amélioration des pratiques mises en place pour protéger les travailleurs exposés.

GENERAL CONCLUSION

More and more resources are used to measure the concentrations of ENP in the workplace and especially in research labs and primary manufacturers of ENP. However, the monitoring of exposures to unintentionally produced particles is not fully documented, except for a few exceptions such as diesel engine exhaust particles or particles from welding processes.

Regarding the results and conclusions presented in these two studies, it is essential to identify possible sources of airborne particles emitted from different processes which may be present with these types of chemical agents. Secondly, it is urgent to improve our knowledge of secondary airborne particles production mechanisms in the workplace (physical and chemical processes).

It would be interesting to harmonize this type of action to create a database on measured concentrations of airborne particles according to the different activities. It would be the first step in conducting epidemiological studies on risk assessment due to exposure to UFPs. The results would guide the industries and research laboratories in improving practices to protect workers.

Lexique

COV : Composé organique volatil

ENP : Engineering nanoparticle

NPM : Nanoparticule manufacturée

PUF : Particules ultrafines produites non intentionnellement

Publications de référence

1 Pietroiusti A et Magrini A. Engineered nanoparticles at the workplace: current knowledge about workers' risk. *Occupational medicine-oxford* 2014;**64** (5):319-330.

2 Ostiguy C, Debia M, et al. Nanomatériaux – Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques en milieu de travail, 2e édition. *Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail* 2008 Rapport scientifique R-840.

3 Zhang M, Jian L, et al. Workplace exposure to nanoparticles from gas metal arc welding process. *J.of nanoparticle research* 2013;**15** (11).

4 Xiaofei S, Rui C, et al. Evaluation of Nanoparticles Emitted from Printers in a Clean Chamber, a Copy Center and Office Rooms: Health Risks of Indoor Air Quality. *J. of Nanoscience and Nanotechnology* 2015;**15** (12):9554-9564.

5 Desmond C, Verdun-Esquer C, et al. Focus on toxic risks in the occupational use of photocopiers. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement* 2015;**76** (5):498-507.

Revue de la littérature

1 Dahm M, Schubauer-Berigan MK, et al. Carbon Nanotube and Nanofiber Exposure Assessments: An Analysis of 14 Site Visits. *Annals of occupational hygiene* 2015;**59** (6):705-723.

2 Thongyen T, Hata M, et al. Development of PM_{0.1} Personal Sampler for Evaluation of Personal Exposure to Aerosol Nanoparticles. *Aerosol and air quality research* 2015;**15** (1):180-187.

3 Chen R, Shi X, et al. Airborne Nanoparticle Pollution in a Wire Electrical Discharge Machining Workshop and Potential Health Risks. *Aerosol and air quality research* 2015;**15** (1): 284.

4 Szabova Z, Cekan P, et al. Occupational Exposure to Solid Aerosols during MIG Welding of Structural Carbon Steel. *Proceedings of the international conference on advances in energy, environment and chemical engineering book series: aer-advances in engineering research* 2015;**23**:245-248

Autres publications identifiées

Weinbruch S, Benker N, et al. Morphology, chemical composition and nanostructure of single carbon-rich particles studied by transmission electron microscopy: source apportionment in workroom air of aluminium smelters. *Analytical and bioanalytical chemistry* 2016;**408** (4):1151-1158.

Cette étude a permis de mesurer la concentration de trois types de particules de carbone dans deux usines d'aluminium en Norvège. Les mesures ont été étudiées par microscopie électronique à transmission et par microanalyse à dispersion d'énergie des rayons X. Le type de carbone le plus important provient de particules de diesel.

Yamada M, Takaya M, et al. Performance evaluation of newly developed portable aerosol sizers used for nanomaterial aerosol measurements. *Industrial health* 2015;**53** (6):511-516.

Les auteurs de ces travaux soulignent l'importance de faire des mesures précises de concentrations de particules nanométriques, mais aussi de leur distribution granulométrique. Des concentrations en nanoparticules «tests» de dioxyde de titane sous forme d'aérosol, ont montré une formation importante d'agglomérats et d'agrégats. Ces mesures ont été réalisées avec des appareils de nouvelle génération, tel le spectromètre mesurant la mobilité des particules et un granulomètre optique.

Thompson D, Chen S, et al. Aerosol Emission Monitoring and Assessment of Potential Exposure to Multi-walled Carbon Nanotubes in the Manufacture of Polymer Nanocomposites. *Annals of occupational hygiene* 2015;**59** (9):1135-1151.

Dans cet article, les auteurs présentent des concentrations en nanotubes de carbone multiparois mesurées sur un site industriel de fabrication de nanocomposites. Ces concentrations en nanotubes de carbone ont été quantifiées par analyse thermo-optique. Elles atteignent des valeurs très élevées jusqu'à 200000 particules/cm³.

Liens d'intérêts :

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt