

Évaluation des expositions professionnelles aux particules nanométriques

Développement et mise en œuvre d'une stratégie opérationnelle d'évaluation des expositions professionnelles aux particules nanométriques articulant le mesurage à l'analyse de l'activité

Alain GARRIGOU, équipe EPICENE, U1219, Inserm et université de Bordeaux.

Louis Galey, Sabyne Audignon, Aude Lacourt et **Patrick Brochard**, Inserm U1219, Bordeaux / **Olivier Witschger**, INRS, Vandœuvre-lès-Nancy / **Olivier Le Bihan**, Ineris, Verneuil-en-Halatte / **Maximilien Debia**, Univ. Montréal, Dép. Santé environnementale et santé au travail, Montréal (Canada) / **Pierre Lambert**, Carsat, Bruges / **Irina Canu**, Santé publique France, St Maurice / **Laurent Martinon**, LAFP, SPSE, Ville de Paris

Étude en cours depuis 2014 – Financement : 199.528 € – Contact : alain.garrigou@u-bordeaux.fr

Mots-clés : nanoparticule, particule fine, particule atmosphérique, aérosol, exposition professionnelle, mesure, activité de travail, prévention, risque, pollution atmosphérique, métrologie, épidémiologie, matrice emploi exposition, Aquitaine, gestion risque

Les particules nanométriques (PN) peuvent être isolées, avec un diamètre inférieur à 100nm, ou regroupées sous forme d'agrégats et d'agglomérats. Ces aérosols nanométriques peuvent être générés non intentionnellement (PNNI) lors du fonctionnement de process ou émises lors de la fabrication et manipulation de nanomatériaux manufacturés (PNM). La toxicité des PN est maintenant bien décrite tant au niveau cellulaire que tissulaire. La taille de ces particules induit une réactivité biologique plus forte et des barrières physiologiques deviennent perméables par rapport à des particules de taille supérieure de même composition chimique et à masse identique. Un tel constat questionne le paradigme conventionnel de la masse lorsqu'il s'agit d'évaluer l'exposition aux PN. En outre, d'autres déterminants de la toxicité comme la concentration en surface et en nombre, la taille

et la forme des particules ainsi que la composition chimique sont également à prendre en compte quand il s'agit des particules nanométriques. Plusieurs recommandations d'évaluation ont été élaborées dans ce contexte d'incertitude. Aucune ne fait à ce jour consensus et la mise en œuvre par les acteurs de la prévention reste un challenge. Les données d'exposition disponibles à ce jour présentent une grande hétérogénéité dans les méthodes et résultats et ne couvrent pas l'ensemble des situations exposantes. En l'état des connaissances sur les expositions, la construction d'études épidémiologiques reste un défi et les actions de prévention freinées.

Les méthodes intégrant l'activité de travail sont des ressources pour l'analyse des expositions.

Le projet de recherche : ExproPNano

L'objectif du projet consiste à proposer une nouvelle approche d'évaluation des expositions professionnelles aux PN, testée dans différentes entreprises. Cette approche s'appuie sur des compétences pluridisciplinaires : ergonomie, hygiène industrielle, métrologie, chimie, épidémiologie.

Méthodologie

Une première étape était l'analyse critique des recommandations d'évaluation existantes élaborées aux niveaux national et international pour mesurer les particules nanométriques en milieu professionnel. Cet état de l'art accompagné d'échanges avec les partenaires a permis d'aboutir à un consensus de stratégie à visée opérationnelle.

À partir d'observations initiales en entreprises, une évaluation approfondie a été menée sur les postes de travail ciblés⁶. Des mesures en temps

⁶ Entre mai 2017 et janvier 2018, 18 campagnes d'évaluation approfondie ont été réalisées dans 5 entreprises par une équipe de 3 personnes non spécialistes de la métrologie (ergonome et hygiénistes industriels). Les opérations ciblées impliquaient à la fois des procédés potentiellement émetteurs de PNNI (fabrication additive, projection thermique et nettoyage cabines de projection, démontage moteurs) et des opérations de manipulation de PNM (pesée, transvasement, mélange) dans les secteurs de

réel et intégrées ciblant la fraction nanométrique et conventionnelle de l'aérosol ont été mises en œuvre systématiquement au plus près des voies respiratoires des opérateurs, auprès de la source potentielle de PN et à une distance éloignée du poste de travail⁷. Différents instruments et dispositifs d'échantillonnage ont été testés pour les mêmes fractions de l'aérosol. L'activité des opérateurs a été observée et filmée, couplée à un enregistrement de la fréquence cardiaque et respiratoire des travailleurs⁸.

Ensuite, la présentation des résultats lors d'entretiens de confrontation ou restitutions collectives à travers des supports compréhensibles par les acteurs de l'entreprise a été menée.

Résultats préliminaires

Il ressort des 22 recommandations d'évaluation actuelles, un niveau d'expertise élevé nécessaire à la mise en œuvre. Les stratégies sont applicables essentiellement pour les PNM. La diversité des objectifs, des types d'aérosols de PN d'intérêt (sources, natures physico-chimiques et évolutions) et leur comportement dans l'air explique en partie les difficultés d'aboutir à une méthode partagée. L'expertise, le coût et l'investigation approfondie nécessaire pour mener à bien une évaluation de l'exposition ressort systématiquement des stratégies.

Les recommandations les plus récentes abordent le besoin de relever les tâches réalisées par les travailleurs ou le mode de fonctionnement des « process » afin de mieux comprendre les

l'aéronautique civil et militaire, du caoutchouc industriel et de la recherche.

⁷ L'articulation entre les mesures des différentes fractions de l'aérosol (concentrations, spéciation chimique et morphologie) comparables à plusieurs points d'échantillonnage (opérateur-source-bruit de fond) et l'analyse fine de l'activité doivent permettre une meilleure compréhension des expositions aux PN et de leurs niveaux. L'intégration de niveaux d'intensité physique (fréquences cardiaques et respiratoires) à ces données pourra apporter une information quant au potentiel dépôt dans les voies respiratoires.

⁸ L'usage d'un logiciel de VEM (Video Exposure Monitoring) a permis la synchronisation des données de mesure avec les vidéos, ce qui nourrit les analyses, l'interprétation des données et la co-construction de la compréhension de l'activité et des phases d'exposition avec les travailleurs observés.

expositions. Le point de vue défendu dans ce projet est que l'exposition des travailleurs est liée aux interactions entre d'une part, les particules nanométriques avec des caractéristiques physico-chimiques et des concentrations bien spécifiques, et d'autre part, la nature de l'activité de travail réalisée (en particulier, du point de vue de l'intensité physique). L'illustration ci-dessous décrit une situation d'exposition.

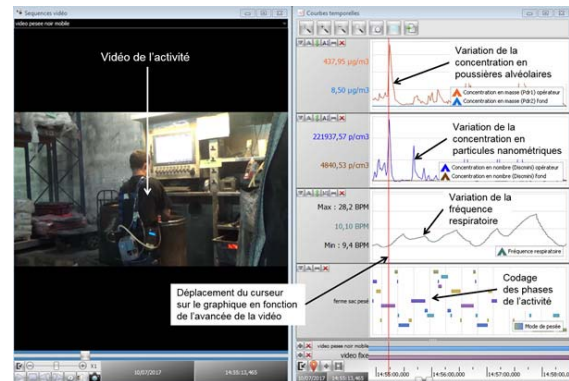


Illustration 4 : Extrait de synchronisation de vidéo et mesures en temps réel. Une augmentation de l'exposition de l'opérateur aux particules micrométriques et nanométriques de noir de carbone est enregistrée lors de la fermeture d'un sac pesé. Ce type d'activité entraîne des intensités physiques fortes liées à la manipulation de sacs de 25 kg. Un codage de l'activité permet de corréler les niveaux d'exposition aux actions de l'opérateur.

L'ensemble des étapes de la stratégie développée, des investigations initiales à la présentation des résultats en entreprise, doit contribuer à évaluer le processus de gestion des risques liés à la présence de PN. Les conditions d'exposition des travailleurs aux PN constituent une énigme accessible de manière fragmentée par les opérateurs, l'encadrement de l'entreprise ou bien les préventeurs.

Une comparaison des niveaux de sécurité relatifs en fonction des milieux professionnels est possible. Ces niveaux de sécurité intègrent la sécurité formelle en place (évaluation des risques, fiches de poste, équipements de protection...), la sécurité effective dans la réalisation du travail (lien entre activités de travail et résultats de mesurages) et les perspectives d'évolution de la sécurité.

Retombées :

Livret de recueil de données en entreprise pour l'évaluation des expositions aux PN (Livret ExproPNano), Mise à disposition des données dans les bases COLCHIC (INRS) et Ev@lutil (Santé Publique France)