

EVALUATION DES EXPOSITIONS PAR INHALATION AUX AEROSOLS : VERS UNE DEMARCHE INTEGREE D'ANALYSE DES DONNEES DE MESURE EN TEMPS REEL

Sabyne Audignon-Durand* ^{1,2,3}, Louis Galey^{1,2}, Sébastien Bau⁴, Alain Garrigou^{1,2} et Olivier Witschger⁴

¹ EPICENE - BPH U1219 INSERM ; ² Université de Bordeaux ; ³ CHU de Bordeaux -
Service de Médecine du Travail ; ⁴ INRS - Laboratoire Métrologie des Aérosols

*Courriel de l'orateur : sabyne.audignon@u-bordeaux.fr

TITLE

Inhalation exposure aerosols assessment: towards an integrated approach to analyze real-time measurement data

RESUME

Dans le cadre d'un projet transdisciplinaire alliant hygiénistes industriels, ergonomes et spécialistes de la métrologie des aérosols, dont l'objectif principal était de proposer et tester une approche opérationnelle d'évaluation des expositions professionnelles s'articulant autour de phases de mesurage et d'observations de l'activité réelle de travail, des campagnes de mesurages en entreprises ont été effectuées. Nous présentons ici les éléments d'une démarche pour l'analyse des données issues des mesures en temps réel visant à mieux décrire et comprendre les expositions, à des fins d'utilisation épidémiologique ou de prévention.

ABSTRACT

As part of a transdisciplinary project involving industrial hygienists, ergonomists, and specialists in aerosol metrology, whose main objective was to propose and experience an operational approach to assess occupational inhalation exposures combining phases of measurement and observations of the actual work activity, field campaigns at workplaces were performed. Here, we present the elements of an integrated approach to analyze real-time measurement data aimed at better describing and understanding exposure levels for epidemiological use or prevention purposes.

MOTS-CLES : Aérosol, métrologie temps réel, exposition professionnelle

KEYWORDS : Aerosols, direct-reading instruments, occupational exposure

1. CONTEXTE

La prépondérance des particules ultrafines dans le milieu du travail et l'essor industriel des nanomatériaux induisent un grand nombre de travailleurs potentiellement exposés (Viitanen *et al.*, 2017 ; Pietroiusti et Magrini, 2014). Pour autant, peu de données d'exposition de qualité et pouvant être comparées sont disponibles dans la littérature (Debia *et al.*, 2016). Cela reste en grande partie lié à l'absence de consensus sur le ou les déterminants de la toxicité ainsi qu'à la diversité des stratégies de mesurage des expositions mises en œuvre. Par ailleurs, à l'heure actuelle, les stratégies ne considèrent pas l'analyse de l'activité réelle de travail alors que cette dernière peut améliorer la connaissance des déterminants de l'exposition (Woskie *et al.*, 2010).

Dans ce contexte, un projet transdisciplinaire a été mis en place (hygiène industrielle, ergonomie, prévention et métrologie des aérosols) dont l'objectif principal était de proposer et tester une approche opérationnelle d'évaluation des expositions professionnelles alliant des phases de mesurage et d'analyse de l'activité réelle de travail (Galey *et al.*, 2016).

L'approche repose à l'origine sur des préconisations françaises (Witschger *et al.*, 2012) qui mobilisent à la fois de la métrologie en temps réel (MTR) et des dispositifs de prélèvement visant des fractions conventionnelles, auxquels a été ajouté l'emploi de techniques de description de l'activité (paramètres physiologiques, vidéos de l'activité et recueil de l'information contextuelle).

Le couplage de paramètres « aérosols » et « physiologiques » est à ce jour encore très peu mis en œuvre. Nous présentons ici les éléments d'une démarche pour l'analyse des données visant à mieux décrire et comprendre les expositions, à des fins d'utilisation épidémiologique ou de prévention.

2. DEMARCHE

Les différentes étapes de l'approche de traitement des données en temps réel proposée pour l'évaluation de l'exposition par inhalation d'aérosols sont présentées sur la Figure 1.

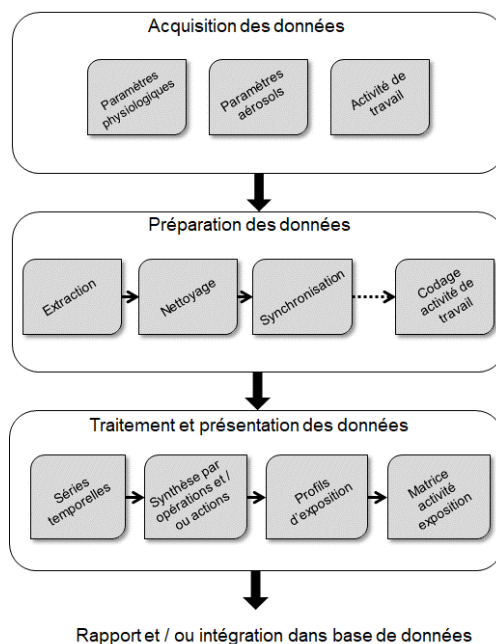


Figure 1 : Etapes de l'approche de traitement des données en temps réel proposée.

L'acquisition des données repose notamment sur l'utilisation de techniques de mesures en temps réel des aérosols positionnées au niveau des voies respiratoires de l'opérateur (mesures dites individuelles) mais également pouvant être positionnées à point fixe afin de caractériser l'aérosol de fond. Cette approche est essentielle dans la mesure où les techniques de mesures en temps réel ne sont pas spécifiques quant à la nature chimique des particules.

Pour ce qui est de l'étape de préparation des données, une fois les données extraites et nettoyées, la synchronisation avec l'activité de l'opérateur est effectuée par exemple à l'aide d'un outil de type « video exposure monitoring » tel que CAPTIV (Martin et al., 1999).

Les modalités de traitement et de présentation des données de la démarche sont illustrées au travers d'un exemple de mise en œuvre.

3. ILLUSTRATION DE MISE EN ŒUVRE DE LA DEMARCHE

Les résultats suivants sont issus d'une campagne de mesurage réalisée dans une entreprise de fabrication de caoutchouc industriel, en particulier lors d'une opération de pesée de différentes poudres (noir de carbone, carbonate de calcium, kaolin). Les mesures en temps réel des aérosols ont été obtenues à l'aide de DiscMini pour la métrique nombre ($\#/cm^3$) et pour la métrique masse ($\mu g/m^3$) à l'aide d'un personal DataRAM 1500 pour la métrique masse ($\mu g/m^3$), en parallèle sur l'opérateur et à un point fixe à distance pour l'aérosol de fond. La fréquence cardiaque de l'opérateur a été mesurée au moyen d'une ceinture Zephyr.

La première étape de la démarche consiste à représenter les séries temporelles des concentrations mesurées en parallèle des mesures physiologiques et à faire coïncider à ces séries les phases principales de l'activité. Dans le cas présent, comme l'illustre la Figure 2, trois phases (P1 à P3) ont pu être définies pour l'opération de pesée. Elles correspondent ici aux trois phases de pesée des différentes charges. On peut noter une bonne corrélation entre les deux métriques nombre et masse. Par ailleurs, il existe un gradient de concentration entre l'opérateur et le point fixe de fond, signe que ce qui est mesuré au niveau de l'opérateur est en partie issu de son activité. Cette représentation permet également de visualiser la présence de pics de concentrations auxquels l'opérateur est exposé.

Ces données temporelles peuvent ensuite être représentées de manière agrégée à l'aide d'outils de représentations statistique descriptive telles que les boîtes à moustaches. Grâce au découpage et au codage de l'activité, ces données agrégées peuvent être alors représentées par phase ou par action de l'opérateur (une opération est généralement constituée de plusieurs phases et de multiples actions, ces dernières pouvant être réalisées plusieurs fois à différents moments). Comme l'illustre la Figure 3, ce découpage permet une

analyse plus fine de l'influence de l'activité sur l'exposition. Dans la Figure 3, les pourcentages indiqués correspondent à la durée relative de la phase (ou de l'action) par rapport à la durée totale de l'opération (d'environ 1h20). On peut observer par exemple que les actions A5 et A6 sont moins « exposantes » que les actions A3 ou A4, et qu'elles ne comptent que pour 14% de la durée totale.

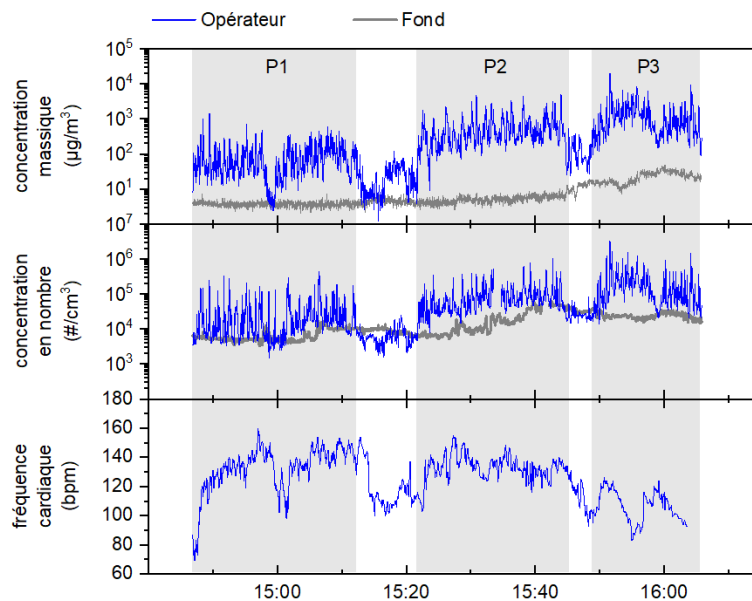


Figure 2 : Profils temporels obtenus en individuel (concentrations & fréquence cardiaque) lors d'une opération de pesée de différentes charges minérales.

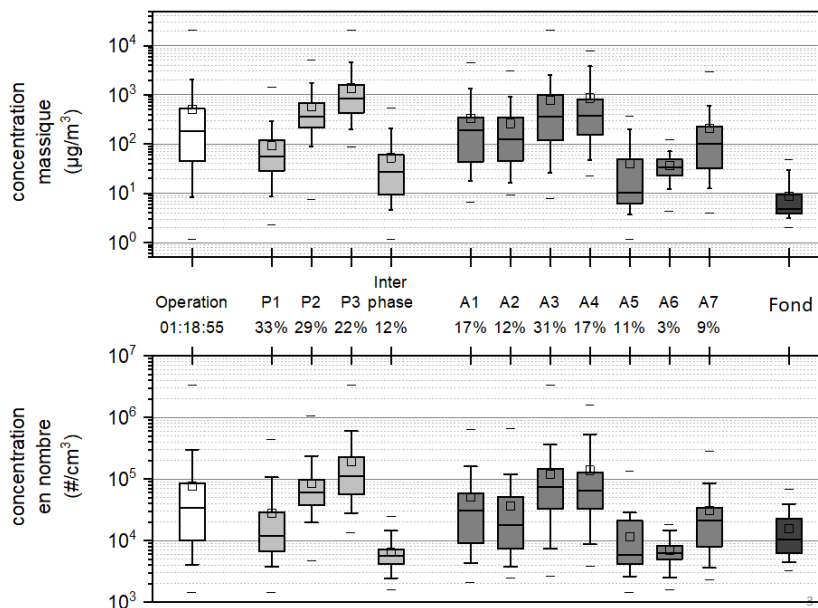


Figure 3 : Bilan par opération, phases (P1 à P3) et actions (A1 à A7).

L'étape suivante consiste à mettre en regard les concentrations (en nombre et en masse) avec la mesure physiologique (ici la fréquence cardiaque, FC). Pour ce faire, les concentrations sont exprimées en relatif par rapport à l'aérosol de fond et des classes définies (dans l'exemple, au nombre de quatre). De même pour la fréquence cardiaque, quatre classes ont été définies par rapport à la fréquence cardiaque maximale théorique (FCMT). L'avantage de représenter les données de mesure en temps réel (concentrations et fréquence cardiaque) en relatif est de pouvoir comparer les métriques entre elles, comme l'illustre la Figure 4.

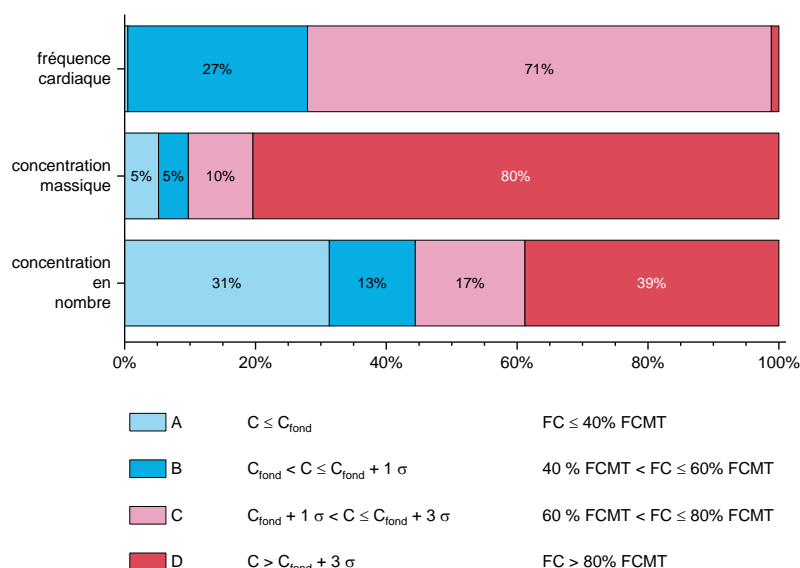


Figure 4 : Profil d'exposition d'un même opérateur lors d'une opération de pesée.

Ces différents éléments nous permettent *in fine* de définir une matrice activité-exposition (par inhalation) qui permet de croiser les données physiologiques de l'opérateur aux niveaux de concentrations auxquels il est exposé (mesure individuelle). Ainsi, cette matrice présente le temps relatif passé par l'opérateur dans une classe donnée de FC (signature d'un coût énergétique) et en même temps dans une classe donnée de concentration. On peut par exemple faire l'hypothèse qu'une exposition « faible » associée à une FC « faible » est une situation qui peut a priori être moins exposante (en terme de dose) qu'une exposition « forte » qui serait associée à une FC « élevée ».

Ce type d'information intégrée représentatif d'une exposition individuelle par le biais des résultats de mesure sur opérateur (concentrations et physiologiques) est d'intérêt pour, par exemple, des travaux épidémiologiques ou en prévention.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les éléments d'une démarche pour l'analyse des données de mesure en temps réel visant à mieux décrire et comprendre les niveaux d'exposition aux aérosols par inhalation ont été développés dans le cadre d'un travail transdisciplinaire.

Cette démarche de traitement nécessite d'être développée plus encore (en intégrant par exemple d'autres paramètres physiologiques pertinents). Par ailleurs, elle demande aussi à être mise en œuvre par différents acteurs, pour différents types d'aérosols et environnements de travail, afin de démontrer au travers d'un retour d'expérience important sa robustesse ainsi que son applicabilité à plus grande échelle. Ainsi, cette démarche pourra contribuer à la production de données d'exposition d'intérêt et comparables afin d'alimenter de futurs travaux épidémiologiques et la mise en œuvre d'une prévention adaptée au travail réel.

Debia M et al. (2016) A Systematic Review of Reported Exposure to Engineered Nanomaterials. *Ann Occup Hyg*, 60(8) : 916-935.

Galey L et al. (2016) Évaluation des expositions professionnelles aux particules nanométriques – projet ExproPNano. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. 77(3) :429.

Martin P, Brand F, Servais M. (1999) Correlation of the exposure to a pollutant with a task-related action or workplace: the CAPTIV system. *Ann Occup Hyg*, 43: 221-233.

Pietroiuusti A and Magrini A (2014) Engineered nanoparticles at the workplace: current knowledge about workers' risk. *Occupational Medicine*, 64(5) : 319-330.

Todea A-M et al. (2017) Inter-comparison of personal monitors for nanoparticles exposure at workplaces and in the environment. *Science of the Total Environment* 605-606 929-945

Viitanen A-K et al. (2017) Workplace Measurements of Ultrafine Particles—A Literature Review. *Annals of Work Exposures and Health*, 61(7) : 749-758.

Witschger O et al. (2012) Préconisations en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux. *Hygiène et Sécurité au Travail*, 2012. 226 : 41-55.

Woskie SR et al. (2010) Understanding Workplace Processes and Factors that Influence Exposures to Engineered Nanomaterials. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 16(4) : 365-377.