HAL
open science

Exposition aux nanotubes de carbone dans une plateforme de transfert de technologies

Louis Galey, Flore Barcellini, Mickael Rinaldo, Alain Garrigou

To cite this version:

Louis Galey, Flore Barcellini, Mickael Rinaldo, Alain Garrigou. Exposition aux nanotubes de carbone dans une plateforme de transfert de technologies. Association of Canadian Ergonomists 45th Annual Conference:Diverse interventions, diverse populations: What are the issues and challenges facing ergonomics?, Oct 2014, Montréal, Canada. hal-02331234

HAL Id: hal-02331234

https://cnam.hal.science/hal-02331234v1

Submitted on 24 Oct 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EXPOSITION AUX NANOTUBES DE CARBONE DANS UNE PLATEFORME DE TRANSFERT DE TECHNOLOGIES

Louis Galey
Université de Bordeaux, LSTE, INSERM U 897, louisgaley@gmail.com
Flore Barcellini
CNAM, Centre de Recherche sur le Travail et de Développement, Équipe d'Ergonomie, flore.barcellini@cnam.fr
Mickaël Rinaldo
Université de Bordeaux, LSTE, INSERM U 897, mickael.rinaldo@chu-bordeaux.f
Alain Garrigou
Université de Bordeaux, LSTE, INSERM U 897, alain.garrigou@iut.u-bordeaux1.fr

Résumé
La demande d'origine porte sur la caractérisation des émissions sur deux pilotes de filage afin de développer les mesures de prévention dans ce contexte d'innovation et d'incertitude face aux risques. La méthodologie repose sur une mise en circulation de résultats d'observation vidéo, intégrant des mesurages, au travers d'entretiens de confrontation à l'activité et de restitution intégrés dans une construction sociale.
L'analyse faite à partir de l'articulation de la vidéo et de la mesure (VEM) permet de mettre en discussion des déterminants à l'origine de variation de l'exposition. Aussi, des stratégies de préservation de la santé élaborées par les opérateurs au cours de l'activité sont repérées. La VEM apparait alors comme un outil d'intervention pour comprendre les représentations et développer les pratiques de sécurité.
Des perspectives d'action apparaissent pour améliorer les conditions de réalisation du travail et les méthodologies de prévention des risques professionnels existantes dans ce contexte d'exposition aux nanoparticules.
Mots clés
Ergotoxicologie, Video Exposure Monitoring (VEM), Nanotubes de Carbone (NTC)

EXPOSURE TO CARBON NANOTUBES IN A TECHNOLOGY TRANSFER PLATFORM

The original request involved characterizing the emissions from two pilot spinning lines in order to develop preventive measures in this context of innovation and uncertainty about the risks. The methodology is based on disseminating video observation results and integrating measurements, via interviews about the activity and restitution incorporated in the social construct.

The analysis, which combined videotaping and measurement (video exposure monitoring or VEM), led to a discussion of the determinants underlying the variations in exposure. Also, health preservation strategies developed by the operators during the activity were noted. VEM can therefore be used as an intervention tool for understanding the representations and developing safety practices. Action perspectives emerged for improving the working conditions and methodologies for preventing occupational risks in this context of exposure to nanoparticles.

Key words
Ergotoxicology, Video Exposure Monitoring (VEM), carbon nanotubes (CNT)

©Association of Canadian Ergonomists | Association Canadienne D'Ergonomie

1. INTRODUCTION

Contexte de l'usage des nanoparticules

L'étude action se déroule dans une plateforme de transfert de technologies de 15 employés en fonctionnement depuis 2009. Cette plateforme est à l'interface entre les industriels producteurs de nanoparticules et les petites entreprises souhaitant intégrer des nanoparticules dans leurs produits. L'entreprise est plus spécifiquement spécialisée dans le domaine des matériaux composites et polymères nanostructurés. Notre travail doit permettre de développer les pratiques de sécurité, d'analyser les risques et d'investiguer une possible dissémination de nanoparticules lors de manipulations sur des lignes pilotes. Plusieurs interrogations subsistent au sujet du relargage éventuel de nanoparticules lors du fonctionnement de ces lignes permettant de produire des fibres polymère contenant des NTC. En effet, des préoccupations pour construire la prévention des risques liés à l'utilisation de nanomatériaux persistent au sein de la structure et dans les recommandations actuelles (Brouwer, 2010 ; Savolainen & al, 2010).

En effet, alors que l'usage de nanomatériaux en milieu professionnel est en augmentation constante (NIOSH, 2013 ; INRS, 2008), des incertitudes fortes persistent concernant les effets possibles sur la santé de l'Homme ainsi que sur les moyens de se prémunir de ce risque émergent. Cette incertitude concernant les effets possibles sur la santé humaine induit un mode de gouvernance du risque spécifique : le principe de précaution. Ce principe implique de mettre en place des mesures effectives à un coût économiquement acceptable, visant à prévenir des effets graves et irréversibles pour l'homme et pour l'environnement (principe ALARA) dans ce contexte. Ce mode d'action doit permettre de rendre possible les développements actuels en se souciant de façon précoce des risques potentiels (Vinck, 2008).

Ainsi, les données toxicologiques actuelles, bien que parfois contradictoires, incitent à se préoccuper des situations sources d'exposition aux nanoparticules. Un certain corpus de connaissances démontre déjà clairement que les objets nanométriques présentent une toxicité plus grande que les éléments de taille supérieure. Ces études ont permis d'identifier certains déterminants communs de ces effets (taille, surface spécifique et réactivité de surface, morphologie, persistance dans l'organisme…) (ANSES, 2010 ; NIOSH, 2013). Poland et al (2008), ont pu constater le développement de fibrose chez la souris, similaire à celle provoquée par l'amiante, après exposition par inhalation à des Nanotubes de Carbone (NTC) multi paroi. Les connaissances sur l'exposition en fonction des activités professionnelles restent pour le moment parcellaires, même si des expositions à certaines nanoparticules ont été davantage étudiées. Les stratégies d'évaluation de l'exposition aux nanoparticules actuellement discutées ne font pas consensus (Witschger & al, 2012 ; Savolainen & al, 2010 ; Brouwer, 2010).

Apport de la VEM à l'analyse des expositions

Depuis le début des années 80, une pratique de l'hygiène industrielle, la VEM (Video Exposure Monitoring), a été développée. Elle consiste à réaliser simultanément des mesures et des vidéos de situations de travail avant de les synchroniser par l'intermédiaire d'un logiciel informatique (Rosén et al, 2005 ; Mc Glothlin, 2005 ; Beurskens-Comuth, Verbist & Brouwer, 2011…). La VEM est apparue du fait que les mesures instantanées réalisées ne permettaient pas toujours de comprendre les éléments des situations de travail amenant à une variation de l'exposition. Pour répondre à cette problématique de compréhension des expositions, plusieurs logiciels (PIMEX, ELVis, CAPTIV®, VEM) ont alors vu le jour afin de pouvoir synchroniser, sur la même base temporelle, les vidéos de situations de travail avec les mesures. On notera que CAPTIV® semble être un des plus complets en raison de sa double fonctionnalité : un module d'enregistrement et de synchronisation des données, et un module d'analyse de l'activité. Ainsi, des chroniques d'activité et des traitements statistiques peuvent être réalisés. Cependant, les descriptions faites de l'usage de la VEM par Rosén et al (2005), semblent laisser peu de place à la prise en compte des représentations et du vécu du travail par les opérateurs. Le travailleur a un rôle qui se limite à imaginer des solutions de prévention, lui permettant de participer à ce processus de transformation.

L'intervention reposant sur la VEM décrite par Rosén et al. (2005), est alors guidée par la recherche de situations d'exposition. La recherche de solutions techniques ou humaines semble orienter l'analyse, au risque d'ignorer des facettes de l'activité. Aussi, la posture d'expert limite la mise en discussion de certaines pratiques, du sens du travail. La construction sociale peut donc se trouver contrainte comme la

©Association of Canadian Ergonomists | Association Canadienne D'Ergonomie

co-construction de nouvelles pratiques de sécurité. Ainsi, le diagnostic posé par ces méthodes ne semble pas pouvoir réinterroger l'organisation du travail, déterminant souvent à l'origine des dysfonctionnements révélés (Daniellou et al, 2011).

2. METHODE

Usage de la VEM en ergotoxicologie

Nous avons utilisé la VEM comme un outil d'intervention s'intégrant dans une démarche globale dans laquelle sont récupérés des données objectives (résultats de mesure et d'observations au travers de la VEM, analyse de procédures, évaluation des risques) (Garrigou et al., 2004) à articuler avec des données subjectives (représentations, valeurs, savoir faire, connaissances, …) afin de comprendre les causes de l'exposition, les choix des acteurs de l'entreprise vis-à-vis de la sécurité, la culture de sécurité présente.

Ainsi, avant de réaliser des observations fines, articulant mesures et vidéo, des entretiens avec l'ensemble des acteurs et une analyse de la sécurité formelle a été faite. Les entretiens avaient pour objectif de comprendre les représentations des risques initiales présentes au sein de l'entreprise, le fonctionnement de l'entreprise, ainsi que les pratiques de sécurité en place. L'analyse de la sécurité formelle a permis de comprendre la construction du système de sécurité ainsi que les repères et prescriptions disponibles aux acteurs de l'entreprise.

Construction sociale

Au-delà d'assurer la participation de l'ensemble des acteurs au processus de construction de la sécurité, plusieurs espaces spécifiques permettant de débattre de l'usage de la VEM ont du être mis en place. La dimension pédagogique et la structuration de l'intervention de santé au travail sous forme de conduite de projet a été un préalable afin d'intégrer des outils innovants opérants (VEM). Cette construction sociale a permis d'expliquer les orientations les plus pertinentes de l'analyse par rapport à la situation de l'entreprise, tout en laissant le choix des situations à analyser finement et des outils à déployer.

La VEM comme outil d'intervention : intégration dans l'étude action

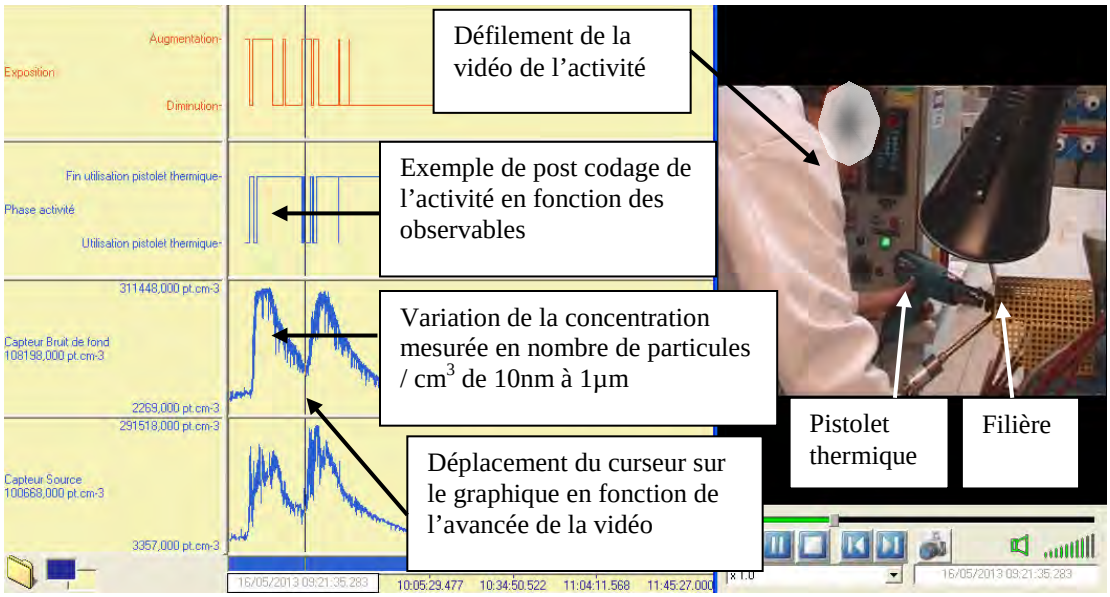
Cet outil a finalement pu être utilisé lors d'entretiens de confrontation à l'activité à partir de CAPTIV® afin de contribuer à la compréhension fine des pratiques réelles et des représentations. Des confrontations sans mesures avec vidéo, puis à partir de VEM présentant les vidéos de l'activité couplées à la mesure ont été réalisées. Finalement, une restitution présentant les données issues de la mise en œuvre de la VEM, des confrontations et de l'analyse des pratiques de prévention a été menée.

Les mesures ont été réalisées à l'aide de 2 CPC (TSI 3007). Ces équipements permettent de compter le nombre de particules / cm^3 de 10nm à 1µm. Un appareil de mesure était positionné à distance de la zone de travail afin de repérer les particules présentes appartenant au bruit de fond. Le second appareil était placé à proximité des voies respiratoires de l'opérateur afin de pouvoir déterminer la quantité de particules dégagée au cours de l'activité. Des mesures à blanc ont également été réalisées lors d'observations préparatoires afin d'estimer le niveau de concentration et les fluctuations en nombre de particules lorsqu'il n'y a pas d'activité. La mise en parallèle de ces mesures contribue finalement à pouvoir affiner des hypothèses au sujet des sources d'émission et de l'exposition aux particules.

3. RESULTATS

L'usage de la VEM permet d'identifier des situations d'exposition potentielles. Ainsi, l'utilisation d'un décapeur thermique permettant de déboucher une filière, des difficultés d'écoulement de la fibre contenant des charges de NTC à la sortie de la filière, la rupture de la fibre dans un four ont été repérées comme sources de dégagement d'aérosols. La figure 1 illustre le type de support obtenu avec le logiciel CAPTIV® :

©Association of Canadian Ergonomists | Association Canadienne D'Ergonomie



La confrontation à ces données objectives permet de comprendre et de développer de nouvelles représentations du risque opérantes pour la réalisation du travail. Dans cette configuration, il devient possible d'agir sur les déterminants de l'exposition repérés au sein de l'entreprise et à un niveau plus global. Ainsi, la confrontation à des données objectives permet de transformer des données subjectives comme les représentations afin de faire évoluer les pratiques de sécurité formelles et de sécurité gérées construites au fil de l'activité. Il apparait également des informations permettant de comprendre la genèse de pratiques de sécurité. Parmi les nouvelles pratiques émergentes obtenues par la contribution de la VEM on notera : des partages de savoir faire de prudence, la mise en place d'espaces réflexifs collectifs permettant le développement de nouvelles pratiques de sécurité réglées (procédures, EPI, EPC, organisation du travail) et une meilleure prise en compte de pratiques de sécurité gérées. Des actions d'amélioration et des pistes d'investigation complémentaires ont été développées avec l'entreprise. De part la mise en circulation de représentations et de partage de pratiques, la méthodologie mise en œuvre peut être considérée comme un moyen de renforcer une culture de sécurité.
Il apparait que l'usage de VEM rend incontournable la mise en place d'une construction sociale robuste. La dynamique de prévention, la confiance avec les acteurs de l'entreprise et une meilleure compréhension des représentations et des enjeux pour la plateforme en découle. Aussi, l'appropriation de l'outil de VEM et la transformation des pratiques de sécurité est renforcée. Un nouveau regard sur le travail et les situations d'exposition est possible.

4. DISCUSSION

Contrairement à l'usage de la VEM décrit par Rosén et al (2005), notre pratique permet de prendre en compte les représentations du risque des opérateurs dans la construction de la sécurité. De plus, les modes de présentation des résultats de mesure proposés par Rosén et al. (2005) ne sont pas similaires aux entretiens de confrontation à l'activité que nous proposons (Mollo & Falzon, 2004). Dans cette pratique présentée par Rosén et al. (2005), il n'est pas envisageable d'engendrer des transformations durables permettant de maitriser efficacement les effets potentiels sur la santé des opérateurs. Cependant, des évolutions dans les stratégies de mesurage des nanoparticules restent encore à réaliser afin d'optimiser l'impact de ce type de démarche. L'usage de la VEM apparait comme un outil d'intervention particulièrement efficace dans une logique constructive et développementale de la santé au travail (Falzon, 2013). La prise en compte de risques de nature différente, dans l'analyse réalisée avec le support de la VEM, est rendue possible par la place centrale de l'activité de travail. Plusieurs types de déterminants des situations d'exposition sont identifiés. Des déterminants techniques, comme l'utilisation du pistolet thermique ou le manque d'efficacité des ventilations sont repérés. Au niveau des déterminants humains, des représentations des risques conduisant à des expositions sont révélées. Au niveau des déterminants organisationnels, une mise en discussion de co-activité a pu être menée. Une réflexion sur

les flux de circulation des nanomatériaux et la création d'espace de développement de la sécurité résultent de l'étude action.
La VEM devient un objet intermédiaire (Vinck, 2009), contribuant à la collaboration de plusieurs compétences disponibles à l'entreprise (préventeurs, ingénieurs, encadrement, opérateurs), rassemblées pour atteindre un objectif commun. De nouvelles pratiques de sécurité plus efficaces peuvent voir le jour malgré les incertitudes quant aux effets sur la santé, et les évolutions rapides de situations de travail favorisées par l'innovation.

BIBLIOGRAPHIE

Anses (2010). Évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement.

Beurskens-Comuth PA, Verbist K. & Brouwer D. (2011). Video exposure monitoring as part of a strategy to assess exposure to nanoparticles*. Ann. Occup. Hyg.,* pp. 1–9.

Brouwer, D. (2010). Exposure to manufactured nanoparticles in different workplaces*. Toxicology*, vol. 269, pp. 120-127.

Daniellou, F., Simard, M. and Boissières, I. (2011). Human and organizational factors of safety: a state of the art. Number 2011-01 of the Cahiers de la Sécurité Industrielle, Foundation for an Industrial Safety Culture, Toulouse, France (ISSN 2100-3874). Available at http://www.FonCSI.org/en/

Falzon, P. (2013). *Ergonomie constructive*. Paris : PUF.

Garrigou, A., Peeters, S., Jackson, M., Sagory, P. & Carballeda, G. (2004). Apports de l'ergonomie à la prévention des risques professionnels. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 497-514). Paris : PUF

INRS (2008). *Les nanomatériaux*. ED 6050. Paris : Editions INRS.

McGlothin JD. (2005) Occupational exposure visualization comes of age. *Ann Occup Hyg* ; 49: 197–9.

Mollo, V. & Falzon, P. (2004). Auto- and confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics*, *35* (6), 531-540

NIOSH (2013). Current strategies for engineering controls in nanomaterial production and downstream handling processes. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2014–102

Poland CA, Duffin R, Kinloch I, Maynard A, Wallace WAH, Seaton A, Stone V, Brown S, MacNee W, Donaldson K (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. Nat Nanotechnol *3*:423–428.

Rosén G, Andersson I-M, Walsh PT et al. (2005) A review of video exposure monitoring as an occupational hygiene tool. *Ann Occup Hyg* ; 49: 201–17.

Savolainen*,* K., Pylkkänen, L., Norppa, H., Falck, G., Lindberg, H., Tuomi, T. et al. (2010). Nanotechnologies*,* engineered nanomaterials and occupational health and safety - A review*. Safety Science,* 48, 957-953.

Vinck, D. (2008). *Les Nanotechnologies*. Paris, Le Cavalier Bleu.

Vinck, D. (2009). De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière : vers la prise en compte du travail d'équipement. *Revue d'anthropologie des connaissances*, n°3 (1), 51-72.

Witschger O, LeBihan O, Reynier M, Durand C. & Charpentier, D. (2012). Préconisations en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en oeuvre des nanomatériaux. ND2355. *Hyg Sécur Trav*. 226 : 41-55.

©Association of Canadian Ergonomists | Association Canadienne D'Ergonomie