

Notes techniques

ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DE MASQUES FILTRANTS LORS D'UNE EXPOSITION AUX NANOPARTICULES

SANDRINE CHAZELET, JUSTINE DENET, INRS, département Ingénierie des procédés

CLOTHILDE BROCHOT, thésarde, Université de Nancy, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, INRS, IRSN

DOMINIQUE THOMAS, Université de Nancy, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés

NATHALIE MICHIELSEN, Institut de Radio-protection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), PSN-RES, SCA, LPMA

Le risque potentiel pour la santé des salariés exposés aux nanoparticules a conduit l'INRS à mener une étude sur leur protection respiratoire. Vis-à-vis des particules inférieures à 100 nm étudiées ici, il s'avère que l'efficacité des masques est maintenue. En l'absence de VLEP, ces travaux préliminaires représentent une première étape dans la mise en place d'une démarche de prévention face à ce risque.

Qu'elles soient manufacturées ou non intentionnelles (indirectement générées par les procédés), les nanoparticules sont potentiellement dangereuses pour la santé humaine. Or, une population croissante de salariés est concernée. Les spécificités de ces particules ultrafines (surface spécifique, toxicité...) rendent nécessaire l'étude ciblée des performances des moyens de protection collective et individuelle mis en œuvre pour réduire cette exposition. Si on se réfère à la littérature, les appareils de protection respiratoire (APR) constitués d'une pièce faciale réutilisable et d'un filtre jetable ont été

peu étudiés. La plupart des études sont menées sur des pièces faciales filtrantes ou sur les filtres seuls [1]. Cependant, la protection offerte par un APR ne dépend pas uniquement de l'efficacité du système filtrant. Les défauts d'étanchéité, tant à l'interface entre le masque et le visage, que du filetage ou des soupapes de la pièce faciale influent fortement sur l'efficacité du masque. Par ailleurs les études menées vis-à-vis des particules nanométriques ont été réalisées à des débits de filtration constants. Se pose donc la question de la représentativité de ces conditions de tests pour les APR qui sont soumis à la respiration humaine (débits cycliques). En effet, d'autres travaux, non spécifiques aux nanoparticules, montrent des écarts de performances lorsque les appareils de protection respiratoire sont testés à débit constant ou cyclique (2 - 4). Cette étude a permis de mesurer le facteur de protection d'APR contre les nanoparticules, grâce au banc d'essais ETNA (Cf. Encadré). Le choix des APR à étudier s'est orienté sur deux demi-masques à ventilation libre. Ce type d'APR est constitué de deux parties: une pièce faciale et un filtre. Chacune des pièces faciales étudiées est certifiée selon la norme européenne EN 140 (1998). Le premier demi-masque (APR1) est équipé de 2 filtres et le second (APR 2) d'un filtre unique. Les filtres équipant les masques APR 1 et APR 2 sont constitués du même média filtrant. Une illustration de demi-masque est donnée Figure 2.

LE CONCEPT EXPLIQUÉ

La filtration des nanoparticules

En filtration des aérosols, l'erreur consisterait à supposer que seul un effet tamis est responsable de la capture d'une particule par un filtre à fibres, c'est-à-dire que la taille de la particule doit être supérieure à la dimension des pores pour être arrêtée. La réalité est plus complexe. En l'absence de champ de force autre que celui de la gravité, le mécanisme de collection des nanoparticules est la diffusion. En effet, leur mobilité est d'autant plus grande que leur taille est faible ce qui augmente leur probabilité de capture. Ainsi, sur la plage 1 - 100 nm, l'efficacité de filtration d'un filtre à fibres (équipant un APR ou utilisé en ventilation générale) est d'autant plus élevée que la taille des particules diminue (cf. Pour en savoir +.)

Facteurs de protection mesurés

Les mesures de facteur de protection global obtenues pour les deux aérosols et pour les deux configurations de débit constant et cyclique sont présentées

sur la Figure 4. Les résultats, par ailleurs très reproductibles, montrent un écart de facteur de protection d'un modèle de demi-masque à l'autre, lié principalement à leur ergonomie. Des écarts sont observés entre les essais réalisés à débit constant et cyclique, sans pour autant qu'une tendance puisse en être extraite, ce qui est en accord avec la théorie. Ainsi il apparaît que les essais réalisés à débit constant ne permettent pas de rendre compte de la valeur du facteur de protection dans le cas d'une respiration humaine.

Les facteurs de protection fractionnels des APR 1 et 2 ont également été mesurés en fonction de la taille des particules, dans le cas d'une respiration cyclique. Ces valeurs sont comparées à celles obtenues pour le média filtrant seul utilisé pour la réalisation des filtres équipant les APR. Les résultats sont présentés sur la Figure 5.

Comme dans le cas des mesures globales, les résultats obtenus avec l'APR 2 traduisent un niveau de protection plus faible qu'avec l'APR 1. Les spectres de mesures de facteur de protection ne montrent pas d'influence particulière de la taille des particules sur les facteurs de protection mesurés lorsque le masque est posé sur la tête, ce qui confirme les résultats de la Figure 4. L'écart entre les valeurs de facteur de protection du filtre seul et celles, inférieures, des deux APR s'explique par des fuites au visage importantes. Alors que le filtre seul possède une très haute efficacité de filtration, les performances de chaque APR sont contrôlées par les

LE BANC D'ESSAIS ETNA

Le banc d'essais ETNA (cf. Figure 1), réalisé à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), est constitué de trois parties: la génération de nanoparticules, la tête factice équipée de l'APR et associée à une machine à respirer simulant la respiration humaine et un analyseur (UWCPC, TSI3786) permettant de mesurer le facteur de protection de l'APR défini comme le ratio des concentrations en particules entre l'extérieur et l'intérieur de la pièce faciale. Cette mesure peut se faire sur l'aérosol global ou par tranche granulométrique. On parle alors de facteur de protection fractionnel. Le facteur de protection global de chaque APR est mesuré en débit cyclique et en débit constant. Le débit cyclique simule une respiration caractéristique d'une activité de faible intensité. Chaque expérience est réalisée sur deux poses distinctes du masque.

Le système de génération, permet de produire deux aérosols polydispersés de diamètres médians respectivement égaux à 13 nm (aérosol 1) et 59 nm (aérosol 2).

Les conditions expérimentales à l'intérieur de la chambre de test où se trouve la tête factice (température, pression, humidité relative, concentration et granulométrie de l'aérosol d'essai) sont contrôlées en permanence.

fuites qui apparaissent lors de la pose du masque, voire qui sont intrinsèques au demi-masque (souple, par exemple). S. Rengasamy et B. C. Eimer [5] observent aussi un seuil à partir duquel le facteur de protection ne dépend plus de la taille des particules, dans le cas de fuites au visage très importantes.

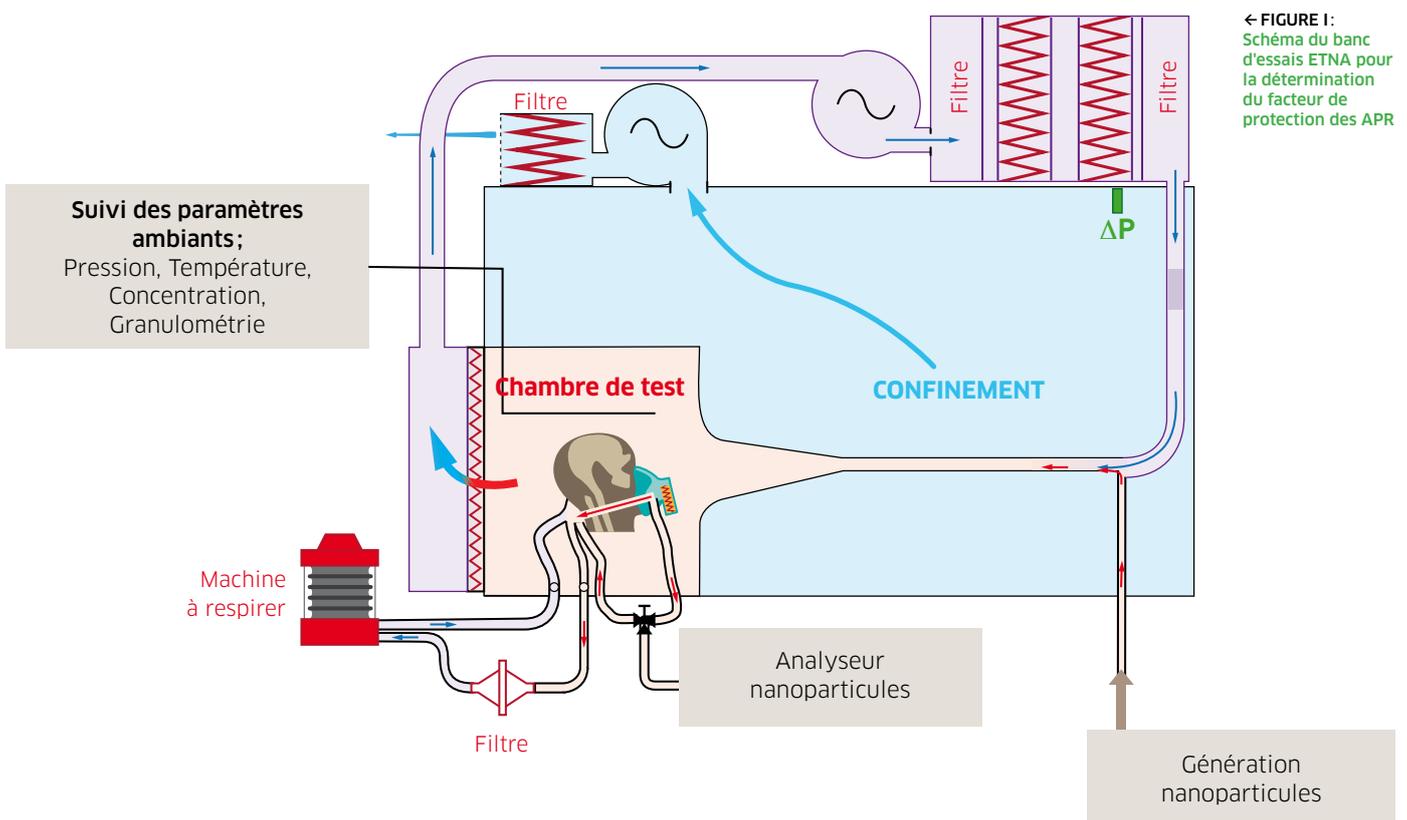




FIGURE II →
Illustration d'un
APR testé

FIGURE III →
Essai avec un sujet
volontaire



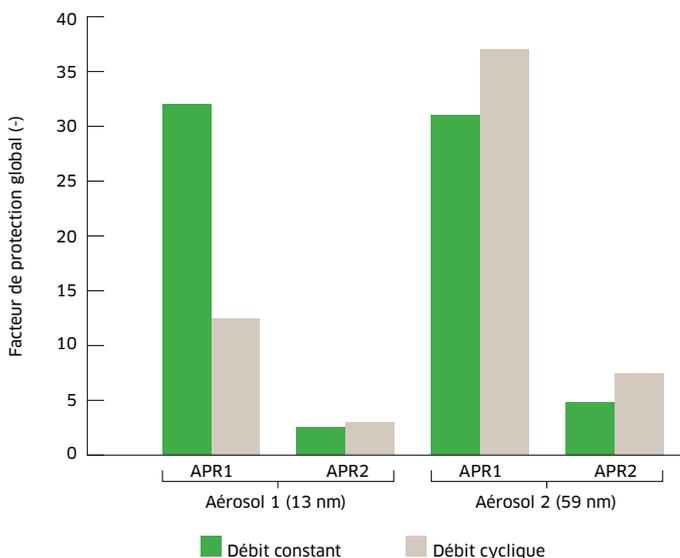
Caractérisation des fuites

L'approche développée par G. Mouret [6] sur des filtres plans percés de fuites calibrées a été appliquée aux demi-masques. Un bilan de matière entre l'intérieur et l'extérieur du masque, reposant sur des mesures de pressions différentielles de part et d'autre du masque, a permis de calculer des taux de fuite (débit passant dans la fuite/débit total inhalé). Les valeurs de ces taux sont respectivement de l'ordre de 1% et de 5% pour les APR 1 et 2. Ces fuites sont globalement équivalentes à celles créées respectivement par un et deux tubes de 3 mm de diamètre intérieur et de 5 cm de long.

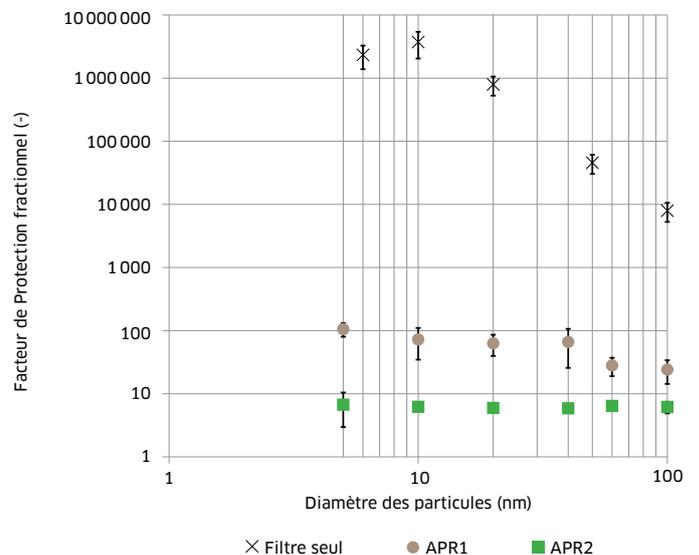
Associée à un modèle théorique de capture par diffusion des nanoparticules au sein du média filtrant, cette approche permet de modéliser les courbes d'évolution du facteur de protection fractionnel du demi-masque en pose libre en fonction de la taille des particules, en prenant en compte le débit cyclique simulant la respiration humaine. Cette approche constitue une première étape dans le développement d'un modèle prédictif de l'évolution du facteur de protection.

Essais sur sujets volontaires

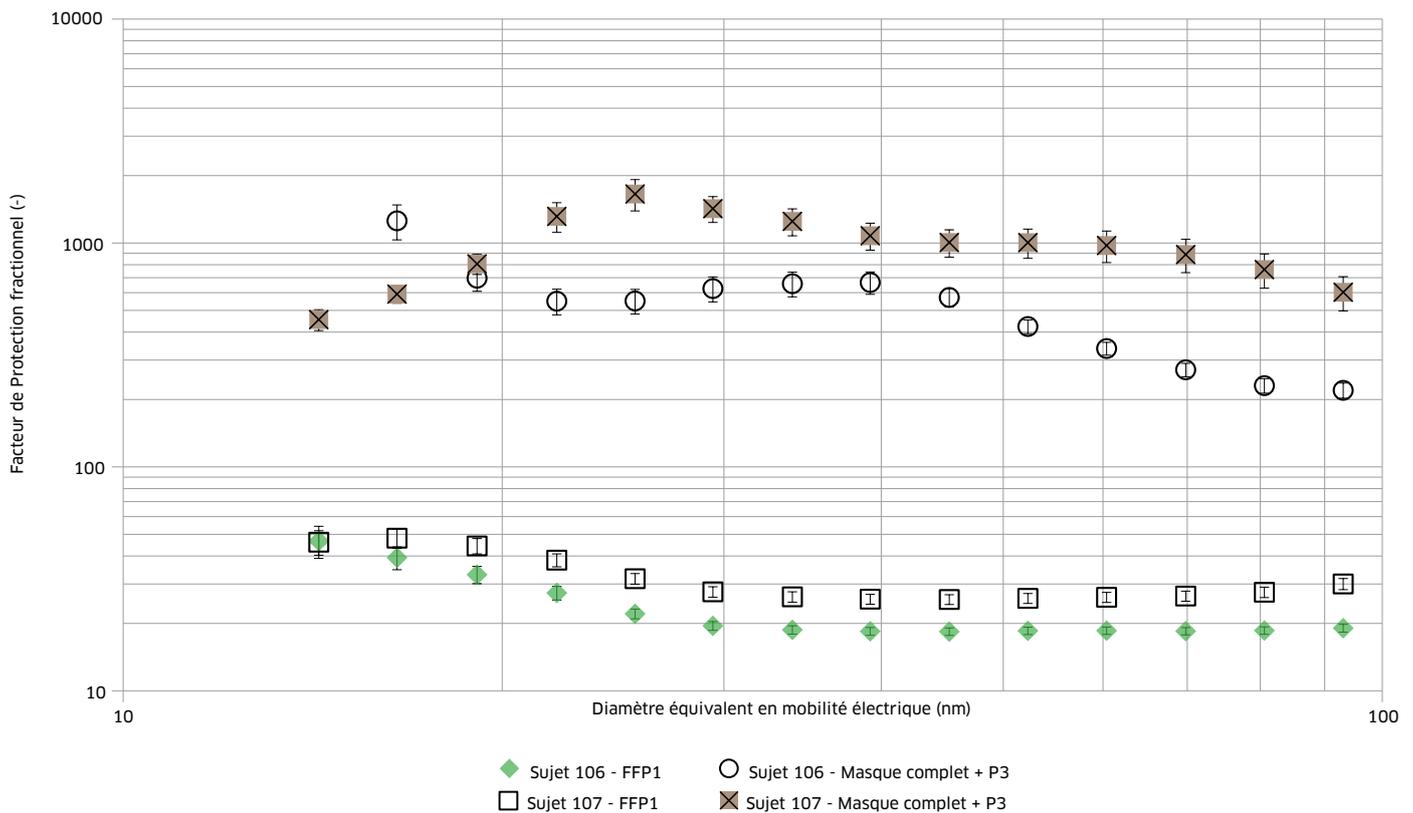
Ces essais se sont déroulés à l'INRS dans une cabine équipée d'un tapis de marche et à l'intérieur de



↑ FIGURE IV: Facteurs de protection globaux de l'APR 1 et de l'APR 2 en pose libre sur la tête



↑ FIGURE V: Facteur de protection fractionnel des deux APR et du filtre en fonction de la taille des particules mesuré en débit cyclique



↑ FIGURE VI: Facteurs de protection fractionnels d'une pièce faciale filtrante FFP1 et d'un masque complet mesurés sur deux sujets volontaires

laquelle un aérosol polydispersé de NaCl est généré (Cf. figure 3). Le tapis de marche permet au sujet d'effectuer une activité (marche lente) correspondant à un effort modéré.

Une fraction de cet aérosol est nanométrique et le facteur de protection de l'APR a pu être déterminé pour différentes classes granulométriques comprises entre 15 et 100 nm environ au moyen d'un FMPS (TSI 3091) sur différents sujets volontaires. Une illustration des résultats obtenus est présentée sur la Figure 6 pour deux modèles d'APR: une pièce faciale filtrante (demi-masque) FFP1 (norme européenne EN 149 (2001)+A1 (2009)) et un masque complet équipé d'un filtre P3 (norme européenne EN 136 (1998)) et pour deux sujets numérotés 106 et 107.

Les résultats obtenus sont en accord avec les essais menés au moyen de la machine à respirer sur demi-masques: le facteur de protection d'un demi-masque varie très peu avec la taille des particules et reste faible du fait d'importantes fuites au visage.

Les valeurs de facteur de protection obtenues sur le masque complet sont bien supérieures à celles obtenues sur la pièce faciale filtrante, notamment sur la plage nanométrique.

Il est important de noter la variabilité des résultats due au sujet porteur du masque et de rappeler que ces mesures ont été obtenues sur des sujets n'effectuant aucun effort ou mouvement particulier.

Conclusion

Cet article décrit un protocole de test des APR vis-à-vis des nanoparticules mis au point et validé sur deux demi-masques et pour différentes conditions opératoires. Les résultats de ces tests ont montré

POUR EN SAVOIR +

- Measurement of Protection Factor of Respiratory Protective Devices Toward Nanoparticles. C. Brochot, N. Michielsen, S. Chazelet and D. Thomas, *Ann. Occup. Hyg.*, 2012, Vol. 56, No. 5, pp. 595 – 605, 2012.
- Filtration des nanoparticules - Application aux appareils de protection respiratoire, C. Brochot, thèse de doctorat de l'INPL, Université de Lorraine, 2012.
- MOURET G., CHAZELET S., THOMAS D., BEMER D., Discussion about the thermal rebound of nanoparticles, *Separation and Purification Technology*, 2011, 78, pp. 125 – 131.
- INRS, ED 138, Fiche Pratique de Sécurité: Nanomatériaux: filtration de l'air et protection des salariés, Avril 2011.
- Dossier « Nanomatériaux, nanoparticules - La prévention face à l'incertitude », www.inrs.fr
- THOMAS D., MOURET G., CALLÉ-CHAZELET S., BÉMER D. Filtration des nanoparticules: un problème de taille? INRS, *Hygiène et sécurité du travail*, 2008, 7 p.



RÉSUMÉ

L'étude présentée dans cet article a pour premier objectif la mise en place d'une méthode de mesure de la protection offerte par les appareils de protection respiratoire (APR) dans le cas d'une exposition aux nanoparticules. Le second objectif est de mesurer cette protection pour des masques filtrants afin de mettre en évidence une éventuelle spécificité due aux nanoparticules. Le banc d'étude des nanoparticules

(ETNA), dimensionné pour les besoins de l'étude à l'IRSN, a permis de tester les performances de deux demi-masques vis-à-vis de nanoparticules de diamètre compris entre 5 et 100 nm. Les résultats mettent en évidence la très forte diminution de l'efficacité globale du demi-masque par rapport à celle du filtre seul, en raison des fuites entre l'appareil et le visage. Celles-ci peuvent être quantifiées en termes de débit et comparées

d'un modèle de masque à un autre. Il apparaît également que les tests en débit continu ne rendent pas compte de l'efficacité de ces protections dans le cas d'une respiration humaine (débit cyclique). Les premiers essais réalisés avec des sujets volontaires à l'INRS ont confirmé ces résultats et donnent une illustration des facteurs de protection de différents types d'APR vis-à-vis des nanoparticules.

Assessing the effectiveness of filtering masks during exposure to nanoparticles

The primary objective of the study presented in this article is to put in place a method of measuring the protection offered by Respiratory Protective Devices (RPDs) in the event of exposure to nanoparticles. A secondary objective is to measure the protection for filtering masks in order to highlight any specificity due to nanoparticles. The nanoparticles test bench (ETNA), dimensioned for the needs of testing at

IRSN (French Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety), has made it possible to test the performance of two half-masks for nanoparticles of diameter lying in the range 5 nm to 100 nm. The findings show the very considerable reduction in overall effectiveness of the half-mask compared with that of the filter alone, due to leaks between the device and the face. Such leaks can be

quantified in terms of flow rate and compared from one model of mask to another. It also appears that continuous flow tests do not take into account the effectiveness of such protective devices for human breathing (cyclic flow). Prospective tests on volunteers at INRS have confirmed these results and give an initial illustration of the protection factors of various types of RPD in protecting against nanoparticles.

que le système, constitué par la pièce faciale et le filtre, était contrôlé par les fuites, naturellement présentes entre la pièce faciale et le visage. Les facteurs de protection des demi-masques sont ainsi quasiment constants avec la taille des particules sur la plage 5 - 100 nm. Une approche théorique a été développée afin de quantifier le taux de fuite d'un masque et propose une modélisation du facteur de protection, validée expérimentalement. Ces essais ont été poursuivis d'une manière prospective sur d'autres types d'APR (pièce faciales filtrantes et masque complet) avec des sujets volontaires. Les mesures de facteur de protection

obtenues confirment les tendances obtenues sur le banc de test et mettent en avant la variabilité des résultats intersujets. Les valeurs des facteurs de protection obtenues d'une manière générale n'indiquent aucune détérioration de la protection respiratoire offerte par les APR testés dans le cas d'une exposition aux nanoparticules en comparaison avec le cas de particules plus grossières, telles que celles utilisées dans les protocoles normalisés. La question de la protection requise vis-à-vis des nanoparticules reste néanmoins entière du fait de l'absence de valeur limite d'exposition professionnelle disponible. ●

BIBLIOGRAPHIE

1 | BALAZY A., TOIVOLA M., REPONEN T., PODGORSKI A., ZIMMER A., GRINSHPUN S.A., Manikin-based performance evaluation of N95 filtering respirators challenged with nanoparticles, *Annals of Occupational Hygiene*, 2006, 50, pp. 259 - 269.

2 | HARUTA H., HONDA T., ENINGER R.M., REPONEN T., MCKAY R., GRINSHPUN S.A.,

Experimental and theoretical investigation of the performance of N95 respirator filters against ultrafine aerosol particles tested at constant and cyclic flows, *Journal of the ISRP*, 2008, 25, pp. 75 - 88.

3 | STAFFORD R., ETTINGER H.J., ROWLAND T.J.

Respirator cartridge filter efficiency under cyclic and steady-flow conditions, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1973, 34, 5, pp. 182 - 192.

4 | BROSSEAU L.M., ELLENBECKER M.J., EVANS J.S.,

Collection of Silica and asbestos aerosols by respirator at steady and cyclic flow, *American Industrial Hygiene Association*, 1990, 51, pp. 420 - 426.

5 | RENGASAMY S., EIMER B.C.,

Total inward leakage of nanoparticles through filtering

facepiece respirators, *Annals of Occupational Hygiene*, 2011, 55, pp. 253 - 263.

6 | MOURET G., THOMAS D., CHAZELET S., APPERT-COLLIN J.C., BEMER D.,

Penetration of nanoparticles through fibrous filters perforated with defined pinholes, *Journal of Aerosol Science*, 2009, Volume 40, Issue 9, pp. 762 - 775.



International Symposium on Culture of Prevention - Future Approaches



25–27 September 2013
Helsinki Congress Paasitorni, Finland

www.ttl.fi/cultureofprevention2013



Finnish Institute of
Occupational Health



KOSHA
Kansallinen Osaamisen ja Terveystieteiden Seura



INRS
Institut National de Recherche en Sécurité



issa | INTERNATIONAL SOCIAL SECURITY ASSOCIATION
SPECIAL COMMISSION ON PREVENTION