



**HAL**  
open science

## **Incidence des fuites sur le facteur de protection d'un demi-masque filtrant**

Clothilde Brochot, Nathalie Michielsen, Sandrine Chazelet, Dominique  
Thomas

► **To cite this version:**

Clothilde Brochot, Nathalie Michielsen, Sandrine Chazelet, Dominique Thomas. Incidence des fuites sur le facteur de protection d'un demi-masque filtrant. 27ème Congrès Français sur les Aérosols, Jan 2012, Paris, France. pp.Brochot et al. hal-00873003

**HAL Id: hal-00873003**

**<https://hal.science/hal-00873003>**

Submitted on 15 Oct 2013

**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.

# INCIDENCE DE FUITES SUR LE FACTEUR DE PROTECTION D'UN DEMI-MASQUE FILTRANT

C. BROCHOT <sup>1,2,3</sup>, N. MICHIELSEN <sup>1</sup>, S. CHAZELET <sup>2</sup> et D. THOMAS <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Service d'Etudes et de Recherches en Aérodispersion des polluants et en Confinement, BP 68, 91192 Gif-sur-Yvette Cedex.

<sup>2</sup> Institut National de Recherche et de Sécurité, Centre de Lorraine, Rue du Morvan CS 60027, 54519 Vandoeuvre Les Nancy Cedex.

<sup>3</sup> Nancy Université, Laboratoire des Sciences du Génie Chimique de Nancy, 1 rue Grandville, BP 20451, 54001 Nancy Cedex.

## Title

Effect of leaks on the protection factor of a half-mask respirator

## Abstract

Ultrafine particles could represent a growing hazard for workers health because of the strong development in nanotechnologies. When it is not possible to reduce the risk at source, Air Purifying Respirators (APR) are one of the means used to limit the exposure to hazardous substances such as particles. The aim of this study is to determine if those respirators are efficient for nanometric size particles. Here we present the test bench dedicated to the measure of the efficiency of the APR for nanoparticles, by getting as close as possible to real conditions of use. The measurements obtained for a APR show that efficiency against nanoparticles increases as leaks at the interface mask/head decreases. For important leaks, the evolution of the protection factor of the device is independent of the size of particles. The same trend is observed in the presence of calibrated leaks.

## Résumé

Les particules de taille nanométrique pourraient représenter un risque de plus en plus important pour la santé des travailleurs du fait du fort développement des nanotechnologies. Lorsqu'il n'est pas possible de réduire le risque à la source, l'Appareil de Protection Respiratoire filtrant (APR) est un des moyens utilisés pour réduire l'exposition à certaines substances nocives, dont les particules. L'objectif de notre étude est de déterminer dans quelle mesure ces appareils sont performants pour des particules de taille nanométrique. Nous présentons ici le banc dédié à la mesure de l'efficacité des APR en présence de nanoparticules, en se rapprochant au mieux des conditions réelles d'utilisation. Les mesures obtenues pour un APR montrent une efficacité pour les nanoparticules d'autant plus importante que les fuites à l'interface masque/tête sont faibles. Pour des fuites importantes, l'évolution du facteur de protection de l'appareil est indépendante de la taille des particules. On observe la même tendance en présence de fuites calibrées.

## 1. INTRODUCTION

L'utilisation des nanoparticules dans l'industrie a augmenté de manière spectaculaire ces dernières années. Toutefois la communauté scientifique, et en particulier les toxicologues, s'interrogent sur l'impact de cette activité sur l'environnement ainsi que sur la santé des travailleurs exposés à des nanoparticules. En effet, ces particules ont la particularité de se déposer dans les voies respiratoires, et pourraient même atteindre le système nerveux via les voies nasales (Oberdörster *et al.*, 2005). Plusieurs études sur la filtration des aérosols nanométriques ont montré que l'efficacité de filtration des nanoparticules par des *media* plans augmente lorsque la taille de l'aérosol diminue jusqu'à 4 nm (Huang *et al.*, 2007 ; Mouret *et al.*, 2009). Cependant, Mouret a aussi montré que des fuites sur un *medium* plan, même petites, peuvent diminuer considérablement l'efficacité du filtre. Cette perte d'efficacité lors d'une perforation est d'autant plus importante lorsque la résistance à l'écoulement due au *medium* est importante. L'efficacité des Appareils de Protection Respiratoire (APR) dans leur ensemble est donc à étudier pour des nanoparticules. En effet, dans le cas où l'utilisation d'une filtration collective n'est pas envisageable pour limiter l'exposition professionnelle, le port d'un APR est le dernier rempart préconisé pour les travailleurs.

Cette étude s'inscrit donc dans le domaine de la maîtrise de l'exposition professionnelle aux aérosols de taille allant du nanomètre à la centaine de nanomètres. Cette étude a pour objectif la détermination des performances de filtration des APR pour des nanoparticules, en se rapprochant au mieux des conditions réelles d'utilisation. Elle permet aussi de mesurer l'effet d'une fuite sur l'efficacité des APR. En effet, aucune recherche ne s'est penchée sur l'efficacité des demi-masques avec filtres à particules pour des nanoparticules, et peu d'études sont effectuées sur l'efficacité de filtration en essayant de simuler au mieux la respiration humaine. Calculée d'après la fuite totale vers l'intérieur du masque, la performance globale tient compte tant des fuites dues à la pièce faciale que de la perméance du filtre utilisé. Le facteur de protection d'un APR est influencé de manière importante par l'efficacité de filtration de son *medium*, mais aussi par d'éventuelles fuites. La réalisation d'un banc de test spécifique aux nanoparticules et la mesure du facteur de protection expérimental de demi-masques devront nous permettre de combler ces lacunes.

## 2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La première étape de cette étude a été le dimensionnement et la construction du banc ETNA (figure 1), banc d'ETUDE des NANoparticules (Brochot *et al.*, 2010). Décrite par Michielsen *et al.* (2011), la première partie du banc permet de produire deux aérosols de test distincts (tableau 1). Ces particules sont alors envoyées dans la chambre de test, conçue dans le but de minimiser les pertes par diffusion sur les parois du montage. Le débit à l'intérieur de la chambre est réglé de telle sorte que la vitesse de l'écoulement mesurée à l'avant du masque est fixée et est inférieure à 0,4 m/s. Des équipements permettent de contrôler à tout moment les conditions expérimentales telles que la température, la pression, l'humidité relative, ainsi que la concentration et la granulométrie de l'aérosol d'essai à l'intérieur de la chambre.

**Tableau 1.** Paramètres des distributions granulométriques des deux aérosols d'essai

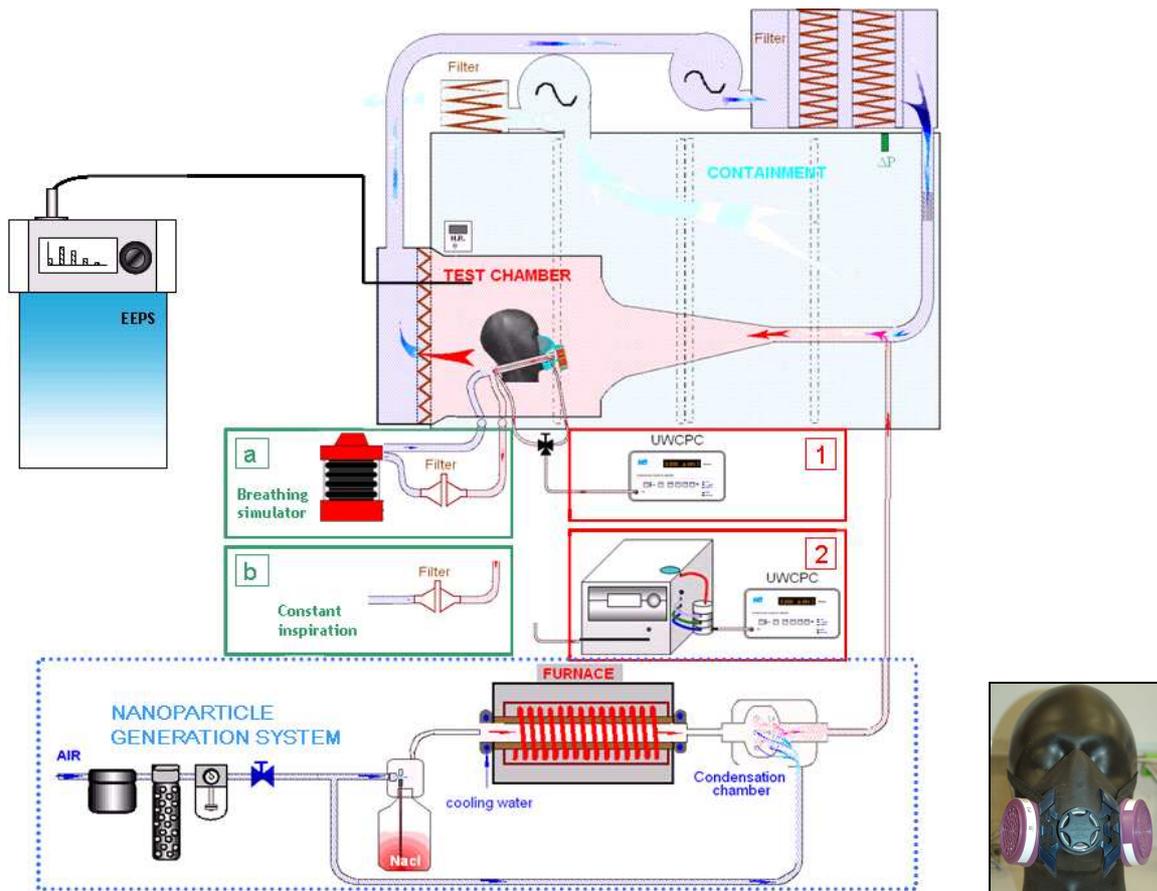
|  | aérosol 1           | aérosol 2           |
|--|---------------------|---------------------|
| Diamètre géométrique moyen (nm)                    | 13                  | 59                  |
| Ecart type géométrique                             | 1,44                | 1,52                |
| Concentration totale (particules/cm <sup>3</sup> ) | 2,9 10 <sup>4</sup> | 9,3 10 <sup>3</sup> |

Une tête Sheffield est couplée à une machine à respirer permettant la simulation de la respiration humaine. Deux configurations d'essais sont prévues : soit une simulation de la respiration, soit une aspiration constante. La première configuration (installation a – fig. 1) simule la respiration d'un porteur par une modélisation simple de la respiration sous forme sinusoïdale. Cette respiration est caractérisée par sa fréquence respiratoire  $f_r$ , fixée à 20 cycles respiratoires par minutes, et par son débit moyen lors de l'inspiration de 84 L/min. Cette simulation de la respiration correspond à un rythme de travail peu intense pour un sujet utilisant un APR (Berndtsson, 2004). La seconde configuration (installation b – fig. 2) est une aspiration constante de 84 L/min. Ces débits peuvent être comparés aux conditions de certification utilisées par le NIOSH (1996), qui utilise un débit de filtration de  $85 \pm 4$  L/min. Enfin, deux sondes de prélèvement, devant le masque et à l'intérieur de la tête, permettent de mesurer les concentrations en amont et en aval du masque. Le rapport de ces concentrations amont et aval, mesurées par un UWPCP (*Ultrafine Water Condensation Particles*

Counter), donne le facteur de protection expérimental du masque filtrant, défini en nombre, par :

$$FP = \frac{C_{\text{amont}}}{C_{\text{aval}}}$$

L'APR étudié ici est un demi-masque qui est généralement utilisé lors d'interventions. Cet appareil est à ventilation libre et élimine les contaminants particulaires ambiants par filtration. Ce type d'appareil est constitué de deux parties : une pièce faciale en demi-masque (norme européenne EN 140, 1998) et un système de filtration composé de deux filtres (norme européenne EN 143, 2000). La pièce faciale permet d'assurer un niveau d'étanchéité entre l'atmosphère ambiante et l'intérieur de l'appareil. Les deux filtres sont placés de chaque côté du masque. Ces filtres, constitués de *medium* plissé, sont classés P3 selon la norme européenne. Ces tests normatifs sont effectués à un débit constant de 95 L/min.



**Figure 1.** Banc de mesure ETNA utilisé pour la mesure de l'efficacité des Appareils de Protection Respiratoire et présentation du demi-masque testé

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

#### Les facteurs de protection globaux

Les mesures du facteur de protection global (installation 1 – fig. 1) pour le demi-masque testé sont présentées dans le tableau 2. Elles sont obtenues pour deux poses différentes : la première simule la pose idéale du masque en scellant l'appareil sur la tête factice. La seconde représente une pose normale de l'appareil, ou pose non scellée. Le masque est positionné selon le protocole d'utilisation donné par le constructeur. Le facteur de protection pour l'aérosol global de test a été mesuré pour les deux configurations d'aspiration (débit cyclique et débit constant), en pose scellée et en pose non scellée.

Lorsque le masque est scellé afin de supprimer les fuites à l'interface masque/tête, le facteur de protection mesuré le moins favorable est de l'ordre de 15 000 (tableau 2). Lorsque l'APR n'est pas scellé, la perte d'efficacité est très importante. Le facteur de protection peut être divisé par un facteur allant jusqu'à un million. Cet écart illustre la différence entre la perméance du filtre THE équipant la pièce faciale (pose scellée) et le facteur de protection réel d'un demi-masque (pose non scellée). De plus, les mesures comparatives entre débit cyclique et débit continu ne permettent pas, dans les

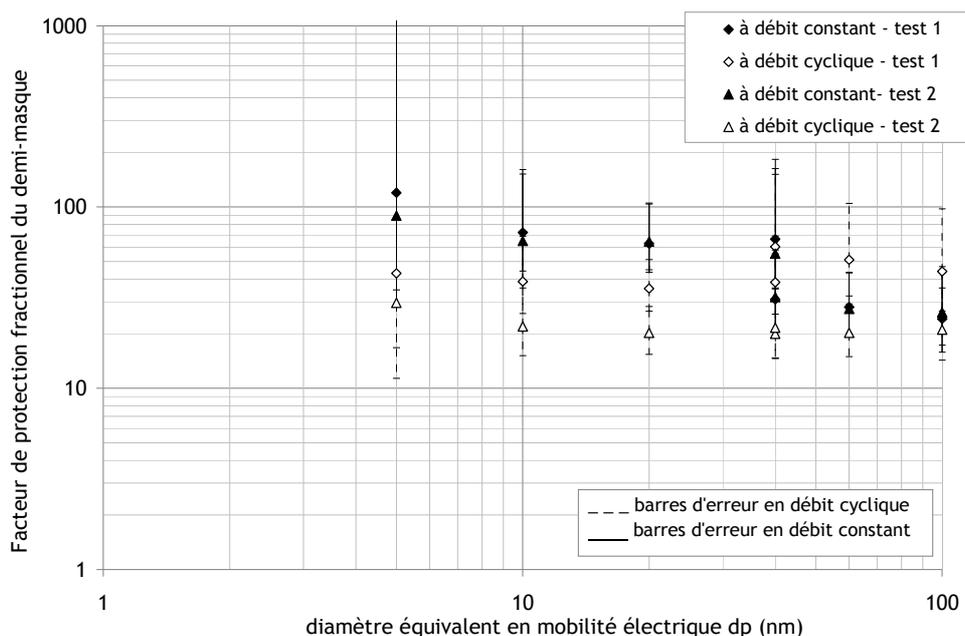
gammas de débits et de tailles de particules étudiés, de mettre en évidence une influence de ces paramètres sur le facteur de protection mesuré. Ces observations sont en accord avec les travaux de la littérature. Ceux-ci montrent qu'au voisinage de 84 L/min, l'écart entre facteur de protection à débit constant et à débit cyclique est très limité (Haruta *et al.*, 2008).

**Tableau 2 - Facteurs de protection en nombre en fonction de la pose (scellée ou non scellée) du demi-masque testé**

|                             |         | débit constant                                     |                    | débit cyclique                             |                    |
|-----------------------------|---------|--|--------------------|--|--------------------|
|                             |         | pose scellée                                       | pose non scellée   | pose scellée                               | pose non scellée   |
| aérosol 1<br>( $d_g=13$ nm) | essai 1 | $0,7 \cdot 10^6 < 1,5 \cdot 10^6 < \infty$         | 31,3 < 32,6 < 33,9 | $0,3 \cdot 10^7 < 2,2 \cdot 10^7 < \infty$ | 11,4 < 14,9 < 21,7 |
|                             | essai 2 | $0,9 \cdot 10^6 < 3,2 \cdot 10^6 < \infty$         | 28,8 < 30,0 < 31,3 | $0,6 \cdot 10^7 < 8,2 \cdot 10^7 < \infty$ | 7,6 < 9,6 < 13,2   |
| aérosol 2<br>( $d_g=59$ nm) | essai 1 | $0,9 \cdot 10^4 < 1,5 \cdot 10^4 < 3,9 \cdot 10^4$ | 29,1 < 31,0 < 33,1 | $0,2 \cdot 10^5 < 1,7 \cdot 10^5 < \infty$ | 40,7 < 54,0 < 80,1 |
|                             | essai 2 | $0,9 \cdot 10^4 < 1,5 \cdot 10^4 < 3,4 \cdot 10^4$ | 29,5 < 31,3 < 33,3 | $0,6 \cdot 10^5 < 2,3 \cdot 10^5 < \infty$ | 15,6 < 20,1 < 28,1 |

### Les facteurs de protection fractionnels

Les facteurs de protection de l'APR en pose non scellée ont ensuite été mesurés en fonction de la taille des particules, dans le cas d'une respiration sinusoïdale et dans le cas d'une aspiration constante (figure 2). Pour le cas des poses scellées, le facteur de protection des appareils de protection respiratoire n'a pas pu être mesuré en fonction de la taille des particules, l'efficacité étant beaucoup trop importante.



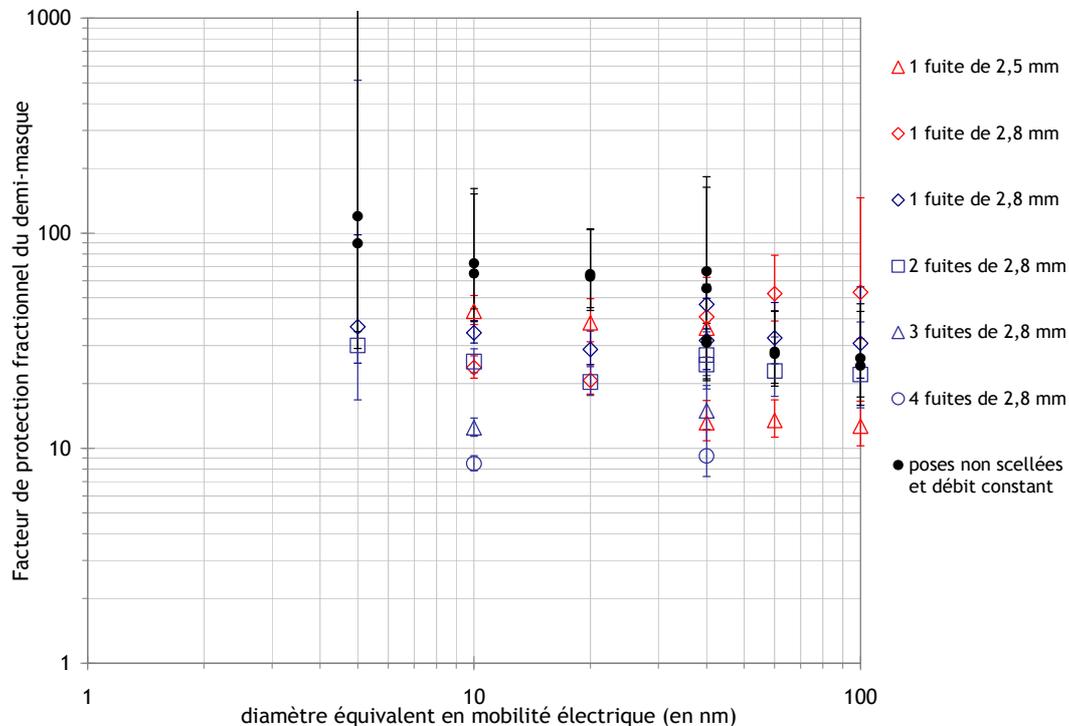
**Figure 2 - Facteurs de protection en nombre et en pose non scellée en fonction de la taille des particules pour le demi-masque testé**

Les spectres de mesure du facteur de protection ne montrent pas d'influence particulière de la taille des particules sur les facteurs de protection mesurés. Rengasamy et Eimer (2011) observent aussi, pour les fuites importantes, un seuil à partir duquel le facteur de protection ne dépend plus de la taille des particules. De même, Mouret (2008) montre que, pour des filtres en fibres de verre perforés, l'efficacité de filtration diminue logiquement lorsque l'importance de la perforation augmente. Il montre aussi qu'en dessous d'un certain diamètre de particule, la perméance tend vers une valeur constante. Ce diamètre de particule est d'autant plus grand que la taille de la perforation est grande, et que la résistance à l'écoulement due au filtre est importante. Ceci nous amène à supposer que les fuites obtenues dans le cas d'une pose non scellée sont assez importantes pour que l'efficacité de l'APR ne soit plus déterminée par l'efficacité du système de filtration, mais par les fuites à l'interface masque/tête. Dans le cas présenté ici, les fuites étudiées sont plus représentatives des fuites réelles d'un APR porté par un sujet. Elles permettent d'estimer la perte réelle d'efficacité lors d'une pose

normale de l'appareil par le porteur.

### Les facteurs de protection fractionnels en présence de fuites calibrées

Afin de relier les deux positions étudiées, la pose scellée et la pose non scellée, des mesures du facteur de protection en présence de différentes fuites calibrées ont ensuite été effectuées en fonction de la taille des particules, dans le cas d'une aspiration constante. Elles sont présentées sur la figure 3. Les fuites sont simulées à l'aide de tubes métalliques de longueur 5 cm et de diamètres internes différents.



**Figure 3 - Facteurs de protection en nombre et en présence de fuites calibrées en fonction de la taille des particules pour le demi-masque**

La première série de mesures (points rouges) présente les facteurs de protection en présence d'une fuite de diamètre 2,5 mm ou en présence d'une fuite de diamètre 2,8 mm, positionnées dans une zone proche. Les mesures expérimentales des facteurs de protection fractionnels obtenues pour ces deux fuites sont très proches et difficiles à distinguer.

La deuxième série de mesures est obtenue à l'aide de plusieurs fuites de même diamètre (2,8 mm). On peut dans un premier temps observer que les facteurs de protection obtenus avec une fuite de 2,8 mm sont différents dans les deux essais réalisés. Ceci est essentiellement dû à la position des fuites. En effet, des mesures ont montré que l'on obtient un moins bon facteur de protection lorsque la fuite est située vers le bas de la joue de la tête Sheffield que située en haut et proche de la joue. Les six spectres de facteurs de protection de la figure 3 peuvent être considérés comme des spectres plats, preuve que l'on se trouve déjà dans un régime dominé par les fuites. Ceci a aussi été observé par Rengasamy and Eimer (2010) qui ont mesuré l'efficacité de quatre pièces faciales filtrantes pour des particules inférieures à 100 nm en présence de fuites calibrées. Ils observent aussi, pour des fuites très importantes, un seuil à partir duquel le facteur de protection ne dépend plus de la taille des particules. Ces mesures montrent que l'efficacité d'un appareil de protection respiratoire d'efficacité P3 est très vite dégradée en présence de fuites, même petites, et que cette perte d'efficacité augmente avec le nombre de fuites.

Il est possible de comparer les taux de fuites des différentes configurations testées à partir des pertes de charge du demi-masque mesurées dans ces configurations. Le tableau 3 présente cette comparaison pour la pose libre du demi-masque et les fuites calibrées. Les valeurs présentées dans ce tableau montrent qu'en pose libre, les fuites sont variables, et difficilement reproductibles en termes de fuites calibrées. Les configurations des poses non scellées testées sont comparables aux configurations testées en présence des fuites calibrées retenues pour les essais, tant pour ce qui concerne les facteurs de protection que les pertes de charge.

**Tableau 3 - Quantification des fuites du demi-masque en fonction des pertes de charges mesurées**

$$\tau = \frac{\Delta P_{\text{scellé}} - \Delta P_{\text{fuites}}}{\Delta P_{\text{scellé}}} (\%)$$

|   |        |
|---|--------|
| Taux de fuite minimum en pose non scellée           | 0,95 % |
| Taux de fuite maximum en pose non scellée           | 5,62 % |
| Taux de fuite en présence d'une fuite de 2,8 mm     | 2,76 % |
| Taux de fuite en présence de deux fuites de 2,8 mm  | 4,71 % |
| Taux de fuite en présence de trois fuites de 2,8 mm | 7,25 % |

## 5. CONCLUSIONS

Au cours de ce travail, nous avons développé un dispositif expérimental qui permet de mesurer le facteur de protection de demi-masques pour des nanoparticules, tout en simulant la respiration du porteur. Les tests ont été réalisés pour deux positionnements de l'appareil (en pose scellée ou non), deux configurations de filtration différentes (à débit constant et à débit cyclique) et deux aérosols de tests (granulométries centrées respectivement autour de 13 nm et 59 nm). Il n'y a pas de différence significative des facteurs de protection dans le cas des tests à débit constant et des tests à débit cyclique. Les facteurs de protection fractionnels obtenus en présence des fuites calibrées retenues (diamètre de 2,5 mm et 2,8 mm) sont compris entre 10 et 100, ce qui correspond à la gamme des facteurs de protection fractionnels mesurés pour l'APR en pose non scellée. Les mesures des fuites au visage, importantes pour l'appareil testé, ont permis de montrer que ce sont les fuites qui contrôlent le facteur de protection, et qu'il n'existe pas de taille de particule plus pénétrante dans une gamme comprise entre 4 nm et 100 nm. Un modèle, fondé sur les résultats obtenus à partir des différents débits de fuite, permettra ensuite d'estimer les pertes d'efficacité dues à celles-ci.

## Références

- Berndtsson, G., (2004). Peak inhalation air flow and minute volumes measured in a bicycle ergometer test. *Journal of the International Society for respiratory Protection*, **21**,21-30.
- Brochot, C., Michielsen, N., Bemer, D., Chazelet, S., et Thomas, D., (2010). Etat de l'art de la mesure de l'efficacité des Appareils de Protection Respiratoire et description d'un nouveau banc de test des APR dédié aux nanoparticules. Recueil des textes du 25ème Congrès Français sur les Aérosols, 13-14 janvier 2010, Paris, France.
- Haruta, H., Honda, T., Eninger, R. M., Reponen, T., McKay, R., et Grinshpun, S. A. (2008). Experimental and theoretical investigation of the performance of N95 respirator filters against ultrafine aerosol particles tested at constant and cyclic flows. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, **25**,75-88.
- Huang, S.H., Chen, C.W., Chang, C.P., Lai, C.Y., et Chen, C.C. (2007). Penetration of 4.5 nm to 10 µm aerosol particles through fibrous filters. *Journal of Aerosol Science*, **38**,719-727.
- Michielsen, N., Lelandais, T., Brochot, C., et Bondiguel, S. (2011). Filtration of Nanoparticles : presentation of FANA Test Bench. *FILTRATION*, **11**,114-117.
- Mouret, G., Thomas, D., Chazelet, S., Appert-Collin, J. C., et Bémer, D. (2009). Penetration of nanoparticles through fibrous filters perforated with defined pinholes. *Journal of Aerosol Science*, **40**,762-775.
- National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Guide to the Selection and Use of Particulate Respirators Certified Under 42 CFR 84, Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1996.
- Norme européenne EN 140 Appareils de protection respiratoire – Demi-masques et quarts de masques – Exigences, essais, marquage.
- Norme européenne EN 143 Appareils de protection respiratoire – Filtres à particules – Exigences, essais, marquage.
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., et Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicology – An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, **113**,823-839.
- Rengasamy, S., et Eimer, B. C. (2011). Total inward leakage of nanoparticles through filtering facepiece respirators. *Annals of Occupational Hygiene*, **55**,253-263.