

DÉTERMINATION DES PERFORMANCES DES MASQUES ANTI-POUSSIÈRES À MÉDIA FILTRANT CLASSIQUE

- Appareil de protection respiratoire
- Masque
- Poussière
- Efficacité
- Méthodologie
- Essai

► P. MARTIN, R. ROUSSEAU, F. BRAND
INRS, Département Ingénierie des procédés

Le but de ces travaux est la mise au point d'essais de laboratoire reflétant au mieux les performances réelles sur le terrain de masques anti-poussières afin de guider les utilisateurs.

Trois séries d'essais ont été effectuées :

- mesures de fuite et de pression pour les appareils dotés d'une assistance ventilatoire ;
- mesures de pression à différents débits pour les masques à ventilation assistée ;
- mesures de fuite et de pression pour les masques à pression négative.

Cette étude ouvre la voie vers le développement de nouvelles méthodes de qualification des protections respiratoires en laboratoire, mieux représentatives des situations réelles de travail. Il sera alors possible d'effectuer une analyse critique des méthodes d'essais utilisées dans le cadre de la certification.

PERFORMANCE DETERMINATION OF DUST-MASKS WITH STANDARD FILTRATION MEDIA

The aim of this work was to design laboratory tests best reflecting the real field performance characteristics of dust-masks for the guidance of users.

Three series of tests were conducted:

- measurements of leakage and pressure for device incorporating ventilation assistance;
- measurements of pressure at different airflows for assisted ventilation masks;
- measurements of leakage and pressure for negative pressure masks.

This paper opens the way to developing new laboratory-based qualification methods, more representative of real working situations, for respiratory protection equipment. It will then be possible to perform critical analysis of testing methods used for certification purposes.

- Respiratory protection device
- Mask
- Dust
- Efficiency
- Methodology
- Test

EXPOSÉ DES MOTIFS ET OBJECTIFS

La directive 89/686/CEE relative à la conception des équipements de protection individuelle, transposée en droit français, est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1993. La liste des organismes français habilités à procéder aux examens de type de ces équipements avant leur mise sur le marché a fait l'objet d'un arrêté du 11 août 1992. L'application de ces textes a conduit l'INRS à réaliser les bancs d'essais permettant de délivrer des at-tes-

tations d'examen CE de type pour tous les appareils de protection respiratoire.

Ces essais contrôlent les spécifications minimales pour la mise d'un produit sur le marché [1-3]. Ils n'ont pas pour but de fournir des informations sur les qualités et les défauts respectifs des appareils commercialisés.

Des campagnes d'essais comparatifs réalisées en situation réelle de travail ont montré que les efficacités de protection mesurées dans le cadre des normes n'étaient pas toujours suffisantes et que les appareils répondant à la même classe

de protection pouvaient avoir des performances très différentes [4 - 12].

Les responsables "hygiène et sécurité" des entreprises sont, de ce fait, confrontés au problème délicat du choix de la protection individuelle la mieux adaptée à la situation de travail considérée. C'est souvent vers l'INRS qu'ils se tournent pour obtenir des informations complémentaires ou des listes de matériels performants.

Dans le passé, l'INRS a publié les résultats des campagnes d'essais de conformité des masques anti-poussières à la norme française [13]. Cette publication constituait un véritable guide de choix des protecteurs de ce type pour les utilisateurs.

Le but de cette étude est la mise au point d'essais de laboratoire permettant d'obtenir des informations qui refléteraient mieux les performances réelles sur le terrain des appareils du marché afin de guider dans leur choix les utilisateurs de masques.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Trois types de protection individuelle respiratoire ont été étudiés :

■ Masque à adduction d'air comprimé

Il s'agit de systèmes permettant la respiration à partir d'un branchement sur un réseau ou sur des bouteilles d'air comprimé de qualité respirable. Lorsqu'il est équipé d'une soupape tarée, le débit d'air entrant dans le masque n'est pas continu, il suit la demande en air du porteur.

■ Masque complet, demi-masque, cagoule à ventilation assistée

Il s'agit de systèmes délivrant l'air filtré par l'intermédiaire d'un ventilateur. L'ensemble filtre, ventilateur, batterie est en général porté à la ceinture. Ces systèmes permettent de faciliter la respiration des sujets en compensant les pertes de charge des filtres.

■ Masque complet, demi-masque filtrant

Souvent appelés masques à pression négative, ils ne possèdent pas d'assistance respiratoire. Ce sont les plus simples et les plus courants des masques anti-poussières. L'effort respiratoire lié à la

perte de charge du filtre est assumé par le sujet.

Trois types d'essais portant sur ces systèmes de protection individuelle respiratoire ont été effectués.

MESURES DE FUITE ET DE PRESSION POUR LES APPAREILS DOTÉS D'UNE ASSISTANCE VENTILATOIRE

Quatre modèles de masque ont été testés :

1. un masque complet à adduction d'air comprimé équipé d'une soupape à la demande à pression positive ;
2. un masque complet à ventilation assistée ;
3. un demi-masque à ventilation assistée ;
4. une cagoule à ventilation assistée.

Trois types de tests ont été effectués par cinq sujets d'essai portant ces masques. Ces activités sont un "step-test" de 40 cm (montée et descente d'une marche d'escalier d'une hauteur déterminée), une marche à 6 km/h et une opération de grattage d'une surface horizontale située à 2 m de hauteur à l'aide d'une spatule. Ces tests ont été réalisés à l'intérieur d'une cabine dans laquelle nous avons généré une concentration contrôlée de 8 ± 4 mg/m³ de NaCl, durant trois minutes et séparées par une période de repos.

La fuite des masques ainsi que la pression relative à l'intérieur de ceux-ci a été enregistrée. La fuite du masque est le rapport exprimé en % de la concentration en chlorure de sodium à l'intérieur du masque sur la concentration à l'extérieur de ce dernier.

MESURES DE PRESSION À DIFFÉRENTS DÉBITS POUR LES MASQUES À VENTILATION ASSISTÉE

Ces essais avaient pour but d'étudier l'éventualité des situations où le débit d'air fourni par le ventilateur est sous-dimensionné ou dégradé (batterie faible, filtre colmaté) et de déterminer leurs conséquences sur les performances des masques.

Trois modèles de masque ont été testés :

1. un masque complet à ventilation assistée ;
2. une cagoule à ventilation assistée ;

3. une cagoule à ventilation assistée équipée d'une valve d'échappement tarée (cagoule modifiée).

Les exercices ont été réalisés par deux sujets. Ils étaient équipés de masques ou de cagoules à ventilation assistée et ont réalisé des step-tests à 10 et 40 cm pendant cinq minutes. Les ventilateurs étaient bridés à l'aide de rondelles en caoutchouc calibrées pour obtenir respectivement des débits de 70, 160 et 210 l/min.

La pression relative à l'intérieur des masques était enregistrée en continu.

MESURES DE FUITE ET DE PRESSION POUR LES MASQUES À PRESSION NÉGATIVE

Les deux séries d'essais précédentes sont très lourdes à mettre en œuvre et ne peuvent donner que des estimations car faire appel à des sujets humains pour les réaliser conduit à une variabilité importante des résultats. De plus, ces essais doivent être conduits dans le cadre de la loi sur l'expérimentation humaine. Il est donc apparu nécessaire, en cours d'étude, d'utiliser une machine respiratoire de manière à simuler l'activité humaine de façon reproductible. Il a également semblé nécessaire de conduire dans un premier temps ce type d'essai sur des protections respiratoires simples que sont les masques à pression négative, cette approche pouvant, par la suite, être appliquée aux systèmes à ventilation assistée.

Deux modèles de masque ont été testés :

1. un masque complet,
2. un demi-masque.

Les appareils ont été choisis pour leur très haute performance durant les essais de certification (0,02 % de fuite pour le masque complet et 1 % de fuite pour le demi-masque).

Les masques étaient positionnés sur une tête factice reliée à la machine respiratoire, l'ensemble étant placé à l'intérieur d'une cabine à concentration contrôlée de 8 ± 4 mg/m³ de NaCl (*Photographie 1*).

PHOTOGRAPHIE 1

Cabine d'expérimentation
 Experimentation cabin


PHOTOGRAPHIE 2

Cartouches filtrantes
 Cartridge filters


TABLEAU I

Débits ventilatoires de la machine respiratoire (l/min)
 Respiratory machine ventilation airflows (l/min)

Fréquence respiratoire $F(\text{min}^{-1})$	Volume respiratoire V (l)		
	1,5	2	2,5
7	10,5	14	17,5
15	22,5	30	37,5
20	30	40	50
40	60	80	100

Les masques étaient équipés de cartouches filtrantes (*Photographie 2*) permettant de reproduire trois pertes de charge représentatives de situations réelles (3,8 ; 7,6 ; 11,4 mbar mesurés à 95 l/min en continu, suivant les conditions d'essais de la norme).

Les points de fonctionnement de la machine respiratoire ont été choisis de manière à être représentatifs des situations de travail. Le *Tableau I* présente ces valeurs en fréquence respiratoire $F(\text{min}^{-1})$, volume respiratoire V (l) ainsi que les débits ventilatoires correspondants (l/min).

Compte tenu de la solubilité du chlorure de sodium dans l'eau, une série d'essais a été effectuée en interposant un humidificateur-réchauffeur sur le circuit expiratoire de la machine respiratoire. En effet, lors des essais de certification des masques sur sujets humains, l'air expiré est à 37° C et saturé en humidité. Une comparaison des mesures de fuite en air sec et en air humide a été réalisée.

Pour ces conditions opératoires, la valeur de la fuite du masque a été enregistrée. Cette valeur correspond à la moyenne de la fuite sur trois minutes, pendant la phase inspiratoire, sur une série de demi-cycles sinusoidaux respiratoires (conformément aux essais normalisés, le prélèvement n'est effectué que durant la phase inspiratoire).

Les résistances respiratoires (pression relative) dans les masques durant les phases inspiratoires et expiratoires ont été mesurées.

RÉSULTATS

MESURES DE FUITE ET DE PRESSION POUR LES APPAREILS DOTÉS D'UNE ASSISTANCE VENTILATOIRE

Le *Tableau II* présente les mesures de pression dans les masques suivant le protocole d'essais décrit plus haut. Les *Figures 1* et *2* donnent une représentation graphique de ces valeurs.

Ces mesures font apparaître des différences de pression suivant les trois familles de produits :

1. dans le masque complet, qu'il soit alimenté par un ventilateur ou par un circuit d'air comprimé, la pression moyenne se situe vers 1,6 mbar ;
2. dans la cagoule, la pression est en moyenne de 0,1 mbar. Cela est dû au manque d'étanchéité de cet appareil ;
3. dans le demi-masque, la situation est intermédiaire (≈ 1 mbar). Cette valeur s'explique par une étanchéité au visage moins performante que dans le cas du masque complet.

La fuite au visage des masques semble supérieure dans l'opération de grattage. Ce phénomène peut s'expliquer par un déplacement du masque lié au mouvement du bras de l'opérateur. Cette activité semble assez représentative d'une situation réelle de travail.

A titre de comparaison, on peut donner les valeurs d'acceptation par les organismes certificateurs de ces masques lors des essais normalisés :

- masque complet et demi-masque à ventilation assistée (TM₃P) : 0,05 % ;
- cagoule à ventilation assistée (TH₃P) : 0,2 % ;
- masque complet à adduction d'air comprimé : 0,05 %.

MESURES DE PRESSION À DIFFÉRENTS DÉBITS POUR LES MASQUES À VENTILATION ASSISTÉE

Le *Tableau III* présente les mesures de pression dans les masques suivant le protocole d'essais. Les moyennes sont calculées à partir des enregistrements en continu sur les deux sujets d'essais, les valeurs extrêmes de ces enregistrements sont également précisées.

Les valeurs indiquées en gras montrent les conditions opératoires pour

FIGURE 1

Mesures de pression dans les masques pour différentes activités
Mask pressure measurements for different activities

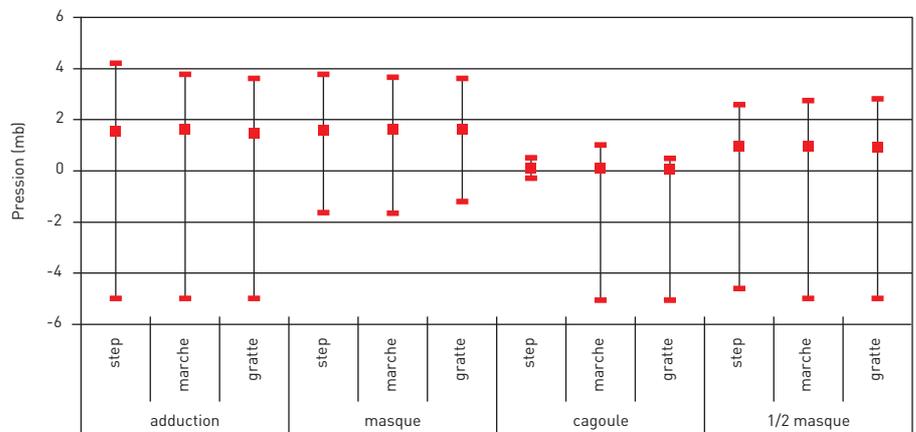
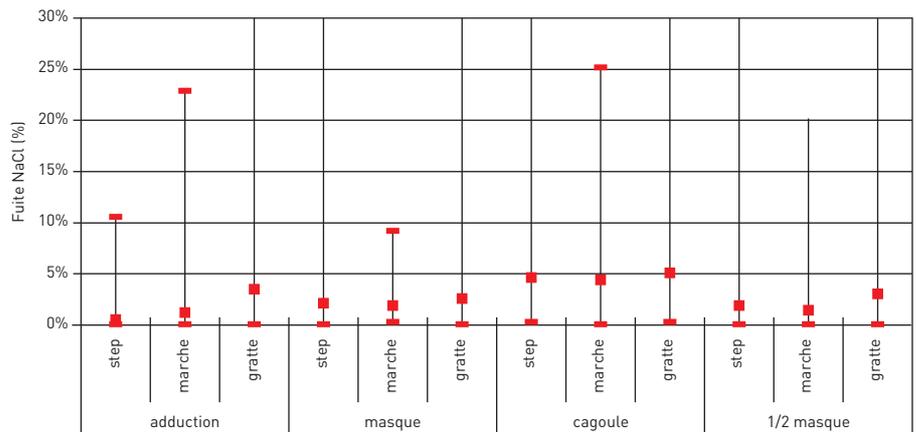


FIGURE 2

Mesures de fuite des masques pour différentes activités
Mask leakage measurements for different activities



lesquelles les masques se trouvaient en dépression par rapport à l'extérieur.

Les *Figures 3* à *8* représentent les résultats de ces essais.

La mise en dépression du masque peut conduire à des situations différentes suivant le type de protection respiratoire. Deux cas sont à considérer :

1. Pour un masque complet, l'étanchéité au visage du masque maintient le porteur en sécurité mais l'oblige à un effort respiratoire supérieur. On constate que, lors d'un effort important (step 40), un masque complet avec un débit de

160 l/min peut parfois ne pas être suffisant. En tout état de cause, un débit de 70 l/min doit être considéré comme insuffisant.

2. Pour une cagoule, il n'existe pas d'étanchéité au visage. Seule la surpression liée au débit d'air de la ventilation maintient le porteur de la cagoule en sécurité. L'analyse du *tableau III* montre qu'il est nécessaire d'avoir un débit supérieur à 70 l/min. Même pour un débit de 160 l/min, l'activité step 40 conduit, dans certains cas, à des surpressions qui semblent faibles compte tenu du manque d'étanchéité du produit. La cagoule, équipée d'une valve expira-

TABLEAU II

Mesures de pression et de fuite en fonction de l'activité
Pressure and leakage measurement in relation to activity

Masque	Test	Mini NaCl (%)	Maxi NaCl (%)	Moy. NaCl (%)	Mini P	Maxi P	Moy. P
Adduction	Step	0,0	11,4	0,4	-5,0	4,2	1,6
	Marche	0,0	25,0	1,2	-5,0	3,8	1,6
	Gratte	0,0	100,0	3,8	-5,0	3,6	1,5
Masque	Step	0,0	100,0	2,2	-1,6	3,8	1,6
	Marche	0,3	10,0	2,1	-1,7	3,7	1,6
	Gratte	0,0	100,0	2,8	-1,2	3,6	1,6
Cagoule	Step	0,2	100,0	5,1	-0,3	0,5	0,1
	Marche	0,0	27,5	4,7	-5,1	1,0	0,1
	Gratte	0,2	30,1	5,5	-5,1	0,5	0,1
1/2 masque	Step	0,0	100,0	2,1	-4,6	2,6	1,0
	Marche	0,0	89,2	1,5	-5,0	2,7	1,0
	Gratte	0,0	32,7	3,2	-5,0	2,8	0,9

TABLEAU III

Mesures de pression dans les systèmes à ventilation assistée (mbar)
Pressure measurements in assisted ventilation systems (mbar)

Pression dans le masque (mbar)		Masque complet			Cagoule			Cagoule avec valve		
		70 l/min	160l/min	210 l/min	70 l/min	160l/min	210 l/min	70 l/min	160l/min	210 l/min
Step 10	Mini	-1,48	0,44	0,43	0,05	0,45	0,60	0,19	1,11	1,49
	Moyenne	0,46	0,81	1,02	0,29	1,04	1,24	0,81	1,61	1,92
	Maxi	1,01	1,21	1,58	0,81	1,70	1,79	1,36	2,04	2,10
Step 40	Mini	-5,00	-0,14	0,48	-0,05	0,26	0,50	-0,03	0,94	1,43
	Moyenne	-0,23	0,89	1,05	0,36	1,08	1,32	0,76	1,53	1,91
	Maxi	1,44	1,74	1,89	1,29	1,97	2,20	1,52	1,96	2,28

toire tarée, semble maintenir une surpression légèrement supérieure à l'intérieur du masque.

MESURES DE FUITE ET DE PRESSION POUR LES MASQUES À PRESSION NÉGATIVE
Résultats obtenus sur le masque complet

Les *Figures 9* et *10* représentent, respectivement pour les situations d'air sec et d'air humide, la fuite du masque en fonction du débit de la machine respiratoire. Chaque point représente un couple volume respiratoire (l), perte de charge (mbar). Ces courbes prennent en compte tous les points expérimentaux de manière non discriminée.

Ces courbes ne font pas apparaître de différence significative entre les enregistrements réalisés en air sec et humide.

Par contre, le niveau de fuite du masque augmente de manière significative lorsque le débit diminue. Mais un volume respiratoire important (2,5 l, cf. *Tableau I*) tend à diminuer ces effets.

La majeure partie des courbes se situe nettement au-dessus des résultats des essais de certification (0,02 %, tracé Norme).

Résultats obtenus sur le demi-masque

Les *Figures 11* et *12* représentent, respectivement pour les situations d'air sec et d'air humide, la fuite du masque en fonction du débit de la machine respi-

atoire. Chaque point représente un couple volume respiratoire (l), perte de charge (mbar). Ces courbes prennent en compte tous les points expérimentaux de manière non discriminée.

Dans le cas du demi-masque, la dispersion moindre des valeurs de fuites aux faibles débits semble due à l'humidification de l'air expiré.

Comme dans le cas précédent, la fuite mesurée augmente lorsque le débit ventilatoire diminue. Ces essais semblent également plus contraignants pour les masques que les essais normalisés.

D'une manière générale, l'élévation du niveau de fuite aux faibles débits ainsi que la dispersion plus importante des valeurs obtenues pourraient être dues à la soupape expiratoire.

FIGURE 3

Step 10 masque complet
Step 10 full mask

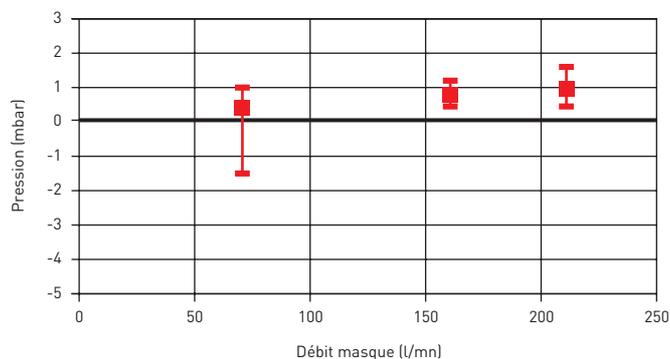


FIGURE 4

Step 40 masque complet
Step 40 full mask

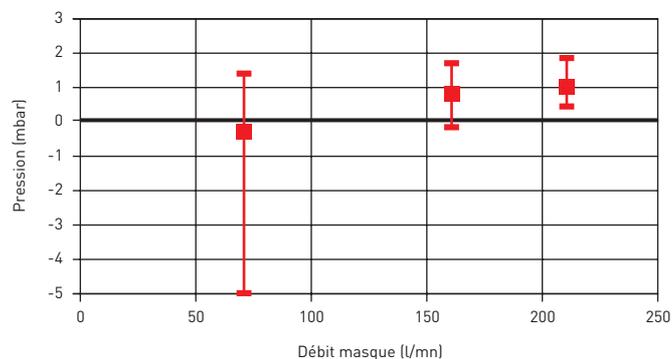


FIGURE 5

Step 10 cagoule
Step 10 hood

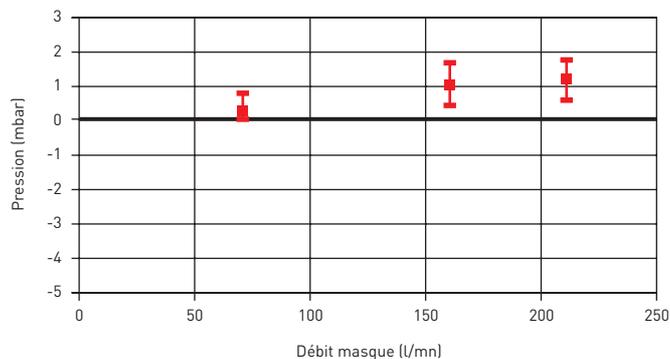


FIGURE 6

Step 40 cagoule
Step 40 hood

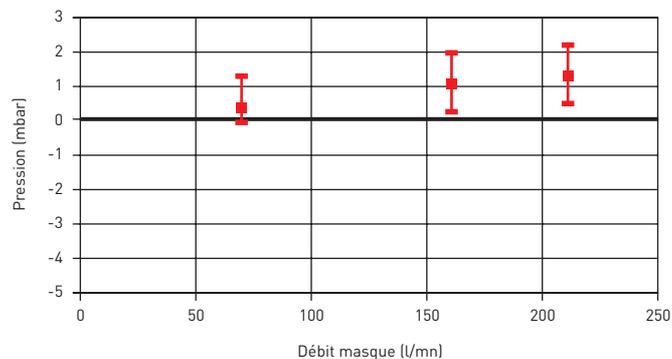


FIGURE 7

Step 10 cagoule modifiée
Step 10 modified hood

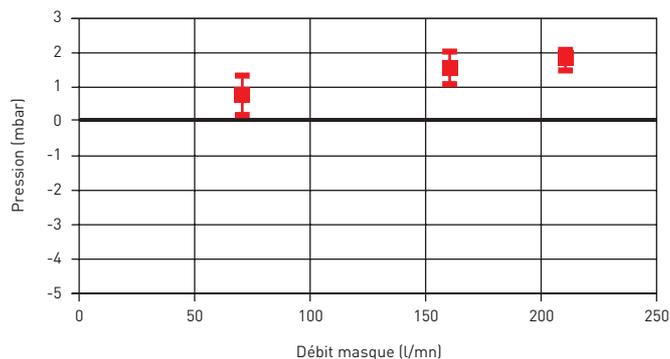


FIGURE 8

Step 40 cagoule modifiée
Step 40 modified hood

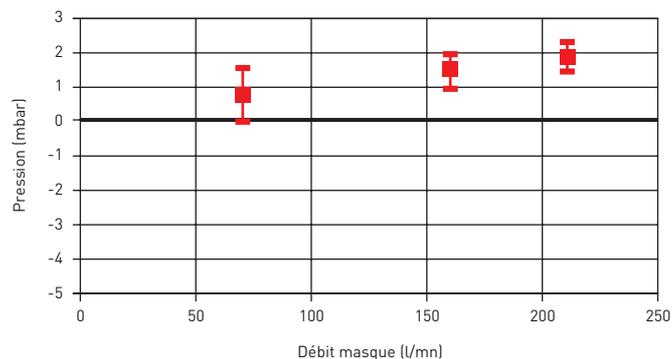


FIGURE 9

Fuite sur masque complet sec

Leak in dry full mask

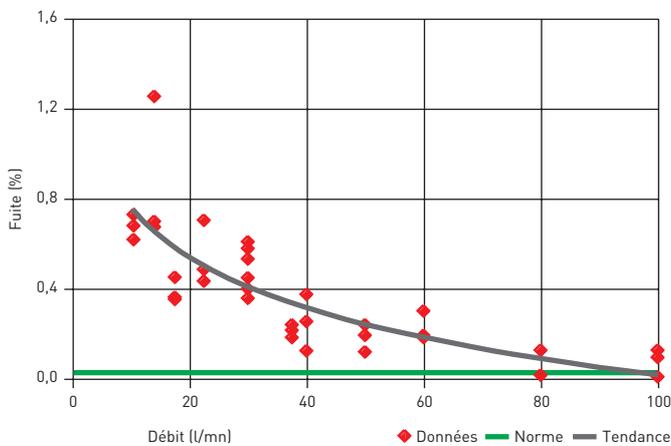


FIGURE 10

Fuite sur masque complet humide

Leak in damp full mask

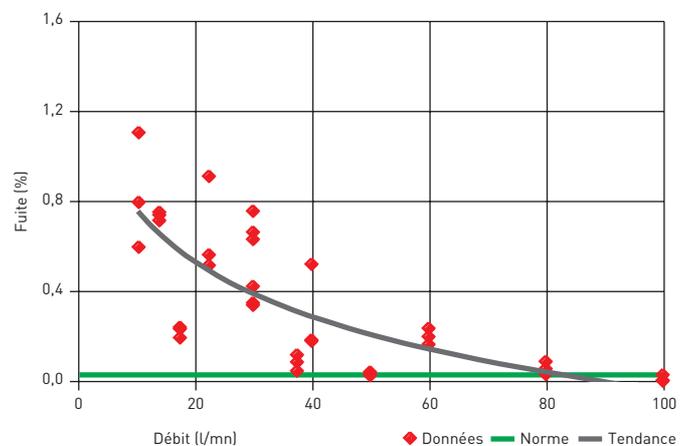


FIGURE 11

Fuite sur demi-masque sec

Leak in dry half-mask

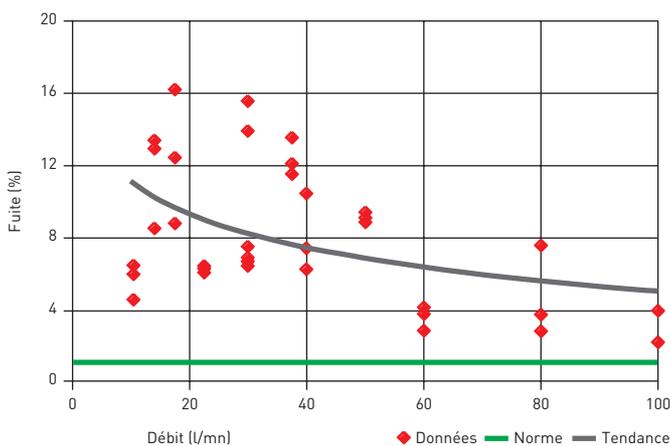
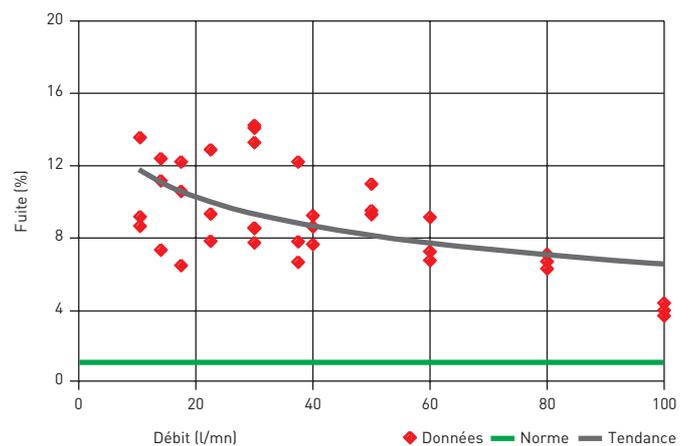


FIGURE 12

Fuite sur demi-masque humide

Leak in damp half-mask



En effet, il est possible que cette dernière soit moins étanche aux faibles débits, permettant ainsi l'entrée de chlorure de sodium durant les phases inspiratoires.

En complément de cette interprétation, l'existence d'un débit de fuite qui ne serait pas une fonction du débit ventilatoire mais une caractéristique du masque pourrait être envisageable. L'effet de la dilution conduirait alors à des valeurs de fuite décroissantes avec l'augmentation du débit ventilatoire.

Dans le cas de systèmes à ventilation assistée, la situation pourrait être différente dans la mesure où le fonctionnement des soupapes résulte de la "com-

pétition" entre la ventilation et la respiration du sujet, conduisant à des fonctionnements différents.

Étude de la résistance respiratoire

Les Figures 13 à 16 représentent la résistance respiratoire des masques durant la phase inspiratoire, en fonction du débit de la machine respiratoire, pour les trois types de perte de charge de filtres (3,8 ; 7,6 et 11,4 mbar).

Qu'il s'agisse d'un masque complet ou d'un demi-masque, la résistance respiratoire diminue lorsque l'air est humidifié. Pour concrétiser ces observations, une régression linéaire pour cha-

cun des tracés a été effectuée (cf. Figures 13 à 16). Chaque régression se fait sur tous les points de la figure sans distinction de perte de charge de filtre :

- masque complet sec :
 $R = 0,179 \times Q + 1,014$
- masque complet humide :
 $R = 0,128 \times Q + 1,296$
- demi-masque sec :
 $R = 0,127 \times Q - 0,860$
- demi-masque humide :
 $R = 0,100 \times Q - 0,421$

La Figure 17 permet de visualiser les différences significatives de comportement des masques en présence d'humidité. La mesure de résistance respiratoire est significativement influencée par la

FIGURE 13

Masque complet sec
Dry full mask

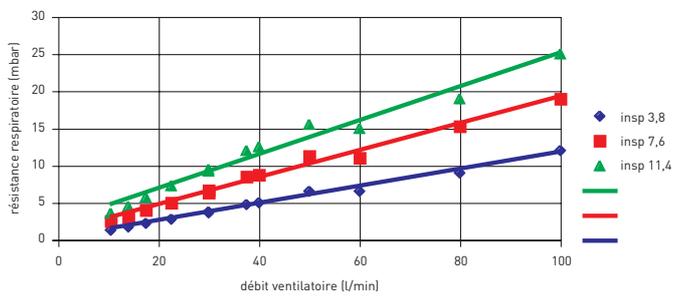


FIGURE 14

Masque complet humide
Damp full mask

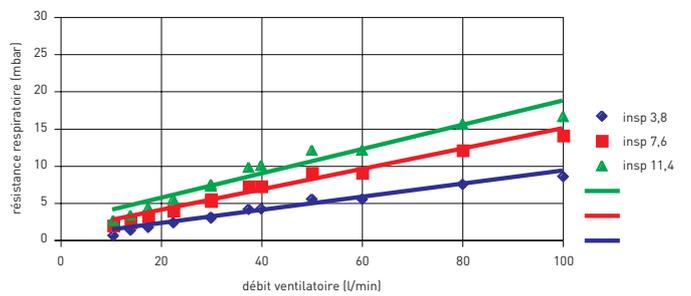


FIGURE 15

Demi-masque sec
Dry half-mask

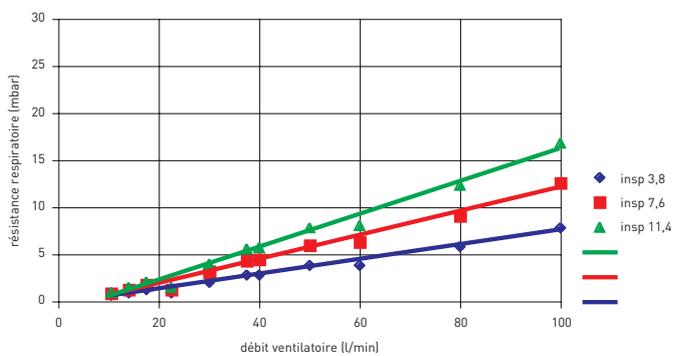


FIGURE 16

Demi-masque humide
Damp half-mask

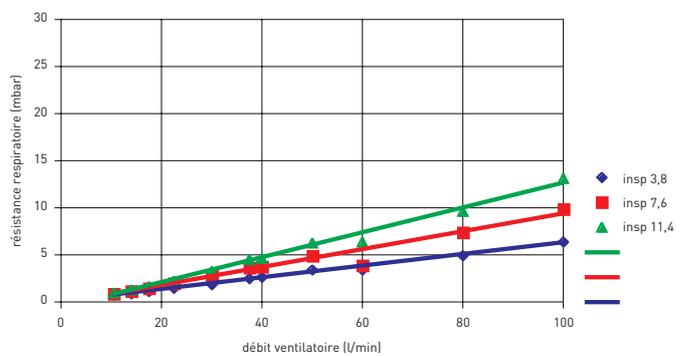
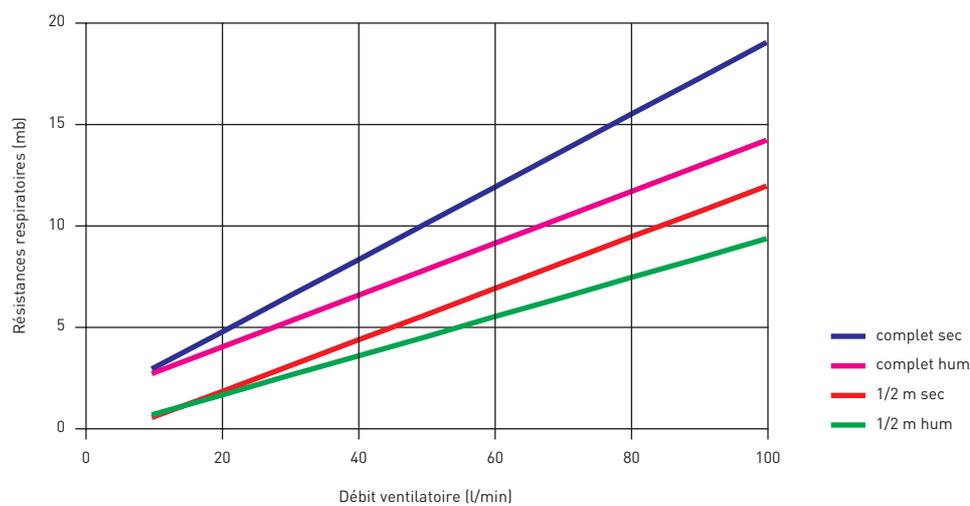


FIGURE 17

Régression sur les résistances respiratoires
Regression for respiratory resistances



présence d'humidité dans l'air expiré. Il semble donc nécessaire, dans les essais futurs, d'intégrer ce paramètre si l'on désire se rapprocher des conditions réelles d'utilisation.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Le protocole d'essai utilisant la machine respiratoire semble intéressant car il permet d'obtenir des conditions opératoires stables dans le temps et reproductibles. Il serait opportun de l'ap-

pliquer sur d'autres masques du même type pour vérifier son aptitude à évaluer des masques du marché de manière efficace. Cette étude semble ouvrir la voie au développement de nouvelles méthodes de qualification des protections respiratoires en laboratoire représentatives des situations de travail réelles. Il serait alors possible d'effectuer une analyse critique des normes. Certains résultats sont encore difficiles à interpréter. Des mesures complémentaires pourraient confirmer ces résultats, éliminer des artefacts éventuels et conduire à la mise en évidence d'éventuels défauts de conception de certains masques.

Une nouvelle étude est prévue afin de compléter les essais avec le chlorure

de sodium sur la machine respiratoire par des essais de même type en entreprise sur une série de masques différents. Ces tests devraient permettre de vérifier la validité du chlorure de sodium comme traceur pour la détermination de la fuite à l'aide d'une machine respiratoire. D'autres traceurs sont envisageables si l'on ne fait pas intervenir de sujets humains pour l'expérimentation.

Reçu le : 20/10/2004

Accepté le : 29/11/2004

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION - Appareils de protection respiratoire. Masques complets. Exigences, essais, marquage. Norme EN 136, AFNOR, Paris, mars 1998.
- [2] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION - Appareils de protection respiratoire. Demi-masques et quarts de masques. Exigences, essais, marquage. Norme EN 140, AFNOR, Paris, décembre 1998.
- [3] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION - Appareils de protection respiratoire. Demi-masques filtrants contre les particules. Exigences, essais, marquage. Norme EN 149, AFNOR, Paris, octobre 2001.
- [4] MYERS W.R., PEACH M.J. - Performance measurements on a powered air-purifying respirator made during actual field use in a silica bagging operation. *Annals of Occupational Hygiene*, 1983, 27, pp. 251-259.
- [5] MYERS W.R., PEACH M.J., CUTRIGHT K., ISKANDER W. - Workplace protection factor measurements on powered air-purifying respirators at a secondary-lead smelter : results and discussion. *American Industrial Association Journal*, 1984, 45, pp. 681-688.
- [6] REED L.D., LENHART S.W., STEPHENSON R.L., ALLENDER J.A. - Workplace evaluation of a disposable respirator in a dusty environment. *Applied Industrial Hygiene*, 1987, pp.53-56.
- [7] TANNAHIL S.N., WILLEY R.J., JACKSON M.H. - Workplace protection factors of HSE approved negative pressure full-facepiece dust respirators during asbestos stripping : preliminary findings. *Annals of Occupational Hygiene*, 1991, pp.181-187.
- [8] AKKERDIJK H., BREMMER C.F., SCHLISZKA C., SPEE T. - Effect of respiratory protective equipment on exposure to asbestos fibres during removal of asbestos insulation. *Annals of Occupational Hygiene*, 1989, 33, pp. 113-116.
- [9] MARTIN P., PUJADE-RENAUD J.M., HERY M., LEBLEU A. - Real efficiency of respiratory protective equipment in industrial application with regard to values specified in standards. *Symposium : Selection and Use of Personal Protective Equipment in the European Countries*. Haan, Rheinland, Germany. 14 -17 février 1995.
- [10] VILLA M., HUBERT, G., LIMA S., KAUFFER E., HERY M. - Occupational Exposure During Asbestos Removal Operations. *J. Int. Soc. Resp. Prot.*, 1994, 95, pp 7-14.
- [11] HERY M., VILLA M., HUBERT G., MARTIN P. - Assessment of the performance of respirators in the workplace. *Ann. occup. Hyg.*, 1991, 35, 2, pp 181-187.
- [12] HERY M., MEYER J.P., VILLA M., HUBERT G., GERBER J.M., HECHT G., FRANCOIS D., HERRAULT J. - Measurements of Workplace Protection Factors of Six Negative Pressure Half-Masks. *J. Int. Soc. Resp. Prot.*, Winter 1993-94, 11, pp 15-39.
- [13] INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE - Masques anti-poussières. Résultats de la sixième campagne d'essais. Caractéristiques physiques et physiologiques. INRS, Paris, 1989, 27 p.