

## Comment bien évaluer la fuite faciale de masques respiratoires. Méthodes normatives, artificielles ou méthodes de terrain ?

R. Rousseau, J.M. Lotti, A. Ouvrai, G. Hubert-Pelle, E. Silvente

► **To cite this version:**

R. Rousseau, J.M. Lotti, A. Ouvrai, G. Hubert-Pelle, E. Silvente. Comment bien évaluer la fuite faciale de masques respiratoires. Méthodes normatives, artificielles ou méthodes de terrain?. [Rapport de recherche] Notes scientifiques et techniques de l'INRS NS 271, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 2007, 23 p., ill., bibliogr. <hal-01420145>

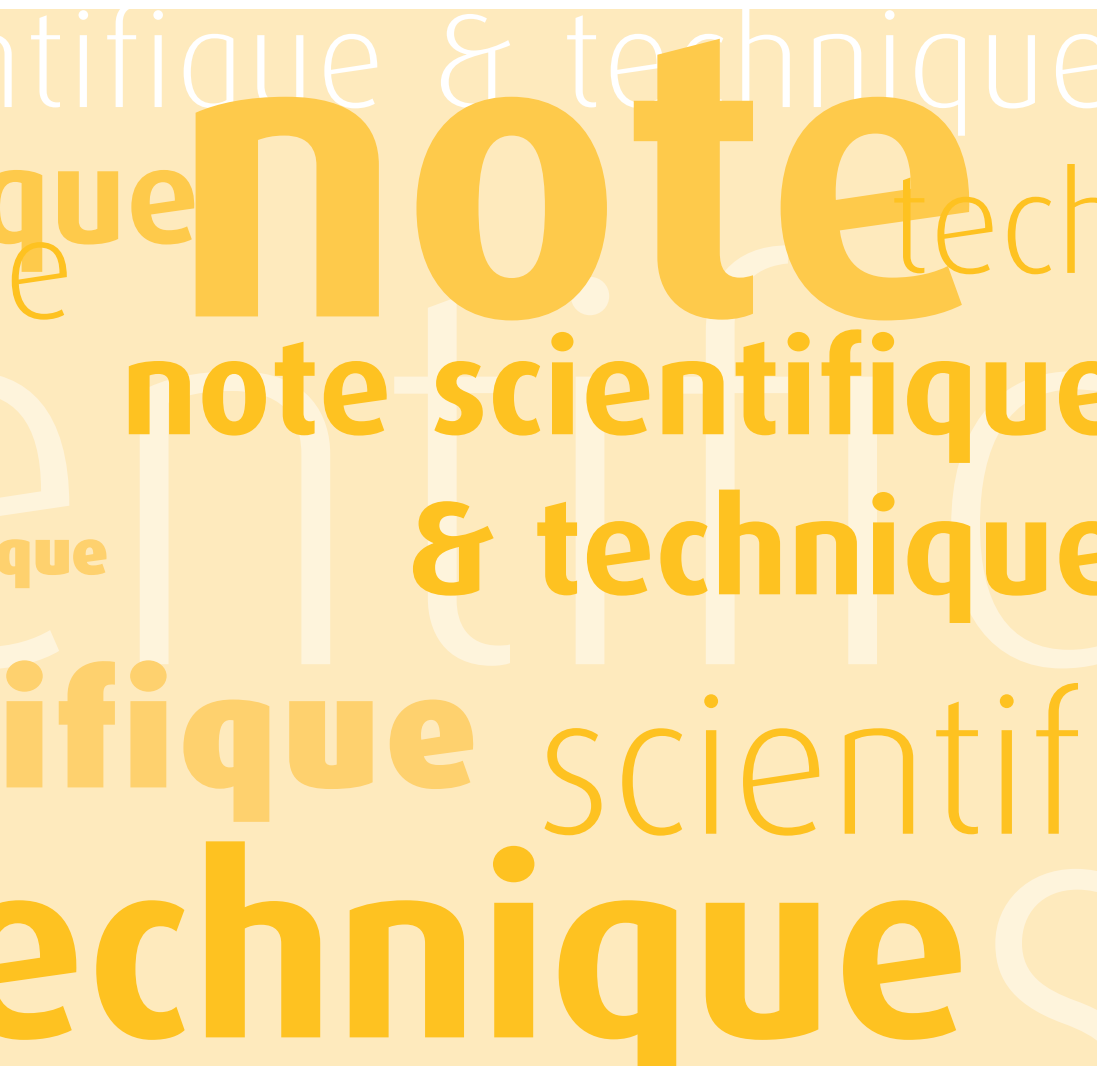
**HAL Id: hal-01420145**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420145>**

Submitted on 20 Dec 2016

**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.



## **Comment bien évaluer la fuite faciale de masques respiratoires**

Méthodes normatives, artificielles  
ou méthodes de terrain ?

# **Note Scientifique & Technique n° 271**

**Comment bien évaluer la fuite faciale  
de masques respiratoires :**

**Méthodes normatives, artificielles  
ou méthodes de terrain ?**

R. Rousseau, J.M. Iotti, A. Ouvrai, G. Hubert-Pelle, E. Silvente  
Département Ingénierie des Procédés

Mai 2007

# **Note Scientifique & Technique n° 271**

## **Comment bien évaluer la fuite faciale de masques respiratoires :**

### **Méthodes normatives, artificielles ou méthodes de terrain ?**

#### Résumé

L'évolution des exigences de sécurité applicables aux appareils de protection respiratoire (APR) tend vers une définition de protocoles normatifs représentatifs des situations de travail.

Dans ce contexte, cette note vise à expliquer les écarts constatés entre les performances de masques respiratoires mesurées sur le terrain et celles obtenues en laboratoire à l'aide d'une machine respiratoire. Des limites d'utilisation de cette machine sous sa forme actuelle ont été établies. Par ailleurs, le principe de détection d'aérosols choisi pour les essais s'est avéré prépondérant sur l'évaluation des performances des masques respiratoires. De plus, le durcissement des conditions de débits respiratoires et la prise en compte de la variable « gestes professionnels » sont des pistes de progrès pour les essais normatifs qui se dégagent de nos tests de laboratoire et de terrain. La méthode de quantification de la fuite faciale par comptage de particules (CNC) s'est révélée ainsi appropriée pour inter-comparer mesures d'ajustage de terrain et évaluations en laboratoire.

# Table des matières

<b>1. EXPOSE DES MOTIFS ET OBJECTIFS .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>2</b>
2.1 - Rappels du protocole normatif .....	2
2.2 - Fonctionnement du banc d'essai de la fuite.....	3
2.3 - Choix des débits ventilatoires (Dv).....	4
2.4 - Masques retenus pour les essais .....	5
2.5 - Choix de l'appareil de mesure portatif (CNC-Portacount 8020 de TSI).....	5
<b>3. RESULTATS PRINCIPAUX .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 - Essais préliminaires de la machine à respirer avec un fonctionnement INSPIRATION - EXPIRATION .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2 - Essais retenus circuit INSPIRATION .....</b>	<b>7</b>
3.2.1 - Essais avec les masques complets.....	7
3.2.2 - Analyses statistiques des données et discussions.....	10
3.2.3 - Essais avec les demi-masques .....	14
<b>3.3 - Essais de terrain avec le dispositif CNC- Portacount.....</b>	<b>14</b>
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>18</b>
<b>5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>19</b>
<b>- ANNEXE - .....</b>	<b>22</b>

# 1. EXPOSE DES MOTIFS ET OBJECTIFS

Les performances des appareils de protection respiratoire filtrants sont la résultante de différentes caractéristiques qui sont principalement :

- la « fuite au visage » des pièces faciales ;
- l'« efficacité de filtration » particulière, antigaz ou combinés des filtres utilisés seuls ou en association avec les pièces faciales.

Ces performances sont généralement étudiées séparément, compte tenu du fait que l'utilisateur final peut utiliser une pièce faciale d'une origine conjointement avec un filtre d'une autre, l'association étant rendue possible par l'existence d'un raccord dit « standard » ou spécifique à une marque. Depuis la directive européenne 89/686/CEE et son application en droit français le 1<sup>er</sup> janvier 1993, l'INRS est notifié pour vérifier, avec des bancs d'essais spécifiques, la certification des appareils de protection respiratoire.

Par ailleurs, des campagnes d'essais comparatifs réalisées en situation réelle de travail ont montré que les efficacités de protection respiratoire, mesurées avec un polluant représentatif de l'atmosphère de travail, n'étaient pas toujours suffisantes et que les appareils répondant à la même classe de protection pouvaient avoir des caractéristiques très différentes [1-10].

Cette présente étude se propose d'évaluer l'influence de la « fuite faciale » comme paramètre agissant sur les performances des masques. La fuite faciale est souvent provoquée par le plus ou moins bon contact avec le visage du porteur, de pièces faciales à pression négative de type « masque complet » ou « demi-masque ». De plus, nous avons étudié ce paramètre avec une approche de type variation des débits ventilatoires, comme facteur agissant en priorité sur la dégradation ou non de l'efficacité des masques.

Ainsi, une étude précédente [11] a mis en évidence que les efficacités mesurées sur deux types de masque à pression négative avec un protocole d'essai utilisant une tête factice Sheffield et une machine à respirer (MAR) étaient inférieures aux valeurs limites des normes européennes harmonisées correspondantes. De plus, nous avons montré une amélioration des performances des masques lors de débits ventilatoires plus importants, résultats pour les moins inattendus. Ce constat préliminaire est susceptible d'avoir des conséquences sur l'exposition aux polluants et d'être préjudiciable à la santé des travailleurs qui pensent être protégés par l'équipement de protection individuelle.

Le premier volet de cette note explicite en détails les résultats de cette étude sur un panel de masques complets et demi-masques et permet d'expliquer les écarts de pénétration constatés par rapport aux limites de certification.

Le second volet de la note propose une méthodologie de mesures de fuite faciale applicable au poste de travail, inspirée des protocoles normatifs. Les contraintes de mesurages en milieu industriel imposent l'usage d'un polluant réel, en substitution d'un agent d'essai de type chlorure de sodium. De plus, l'appareillage servant à la certification n'est pas transportable. Nous avons donc validé d'autres moyens de mesurages (de type compteur de particules). Enfin, la prise en compte du paramètre « gestes professionnels » au lieu du paramètre « variation du débit respiratoire » s'est avérée plus judicieuse pour l'étude de la fuite faciale avec un polluant sub-micronique.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1 - Rappels du protocole normatif

La méthode de détermination de la fuite vers l'intérieur pour les appareils de protection respiratoire est cadrée par la norme NF EN13274-1 [12]. Le principe est illustré à la figure 1.

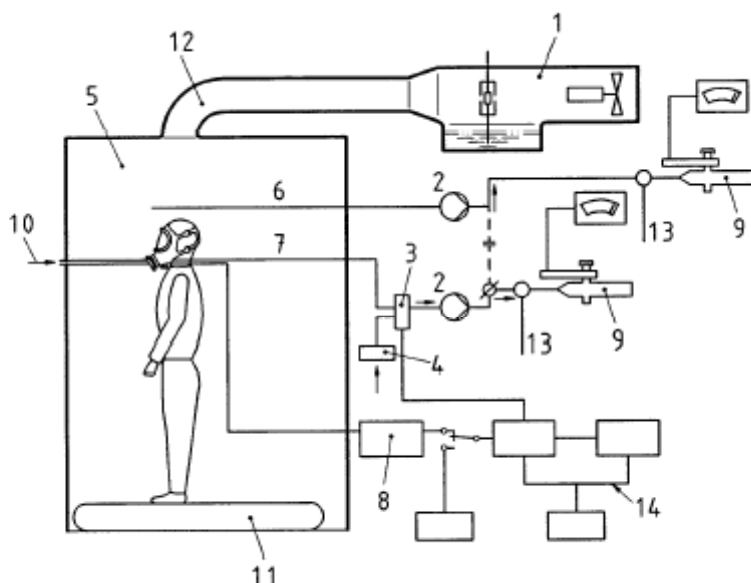


Figure 1. Montage d'essai pour déterminer la fuite faciale [18]

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1 Atomiseur                         | 8 Manomètre                            |
| 2 Pompe                             | 9 Photomètre                           |
| 3 Vanne d'inversion                 | 10 Simulateur de référence à air frais |
| 4 Filtre                            | 11 Tapis roulant                       |
| 5 Cagoule/chambre                   | 12 Conduit et chicane                  |
| 6 Prélèvement de la cagoule/chambre | 13 Air additionnel                     |
| 7 Prélèvement de la pièce faciale   | 14 Interface d'échantillon pulsé       |

Les essais normatifs se déroulent dans une cabine de génération avec une concentration de l'agent d'essai NaCl à  $8 \pm 4 \text{ mg.m}^{-3}$ . Les sujets d'essais effectuent une série de 5 exercices (différents mouvements de têtes, récitation de l'alphabet) sur un tapis de marche à  $6 \text{ km.h}^{-1}$ . Une procédure de calcul automatique permet d'éditer les fuites pour chacun des exercices de simulation en tenant compte de la concentration résiduelle de NaCl dans le masque.

Les concentrations sont mesurées par un photomètre à flamme d'hydrogène à bas débit de prélèvement (PF Moores). La fuite du masque est le rapport entre la concentration de NaCl dans le masque, en phase inspiratoire et dans l'enceinte.

Une pièce faciale, de type masque complet, est conforme si la valeur de la fuite moyenne pour tous les sujets d'essais et tous les exercices est inférieure à 0,05 % (EN136:1998). Un demi-masque est conforme si la fuite moyenne pour chaque sujet sur 46 exercices est inférieure à 5 % et 8 des 10 moyennes par sujet inférieures à 2 % (EN140:1998).

## **2.2 - Fonctionnement du banc d'essai de la fuite**

Ce banc est constitué d'une tête factice Sheffield, d'un circuit respirateur et d'une machine à respirer. Il peut fonctionner selon deux principes :

- en mode inspiratoire-expiratoire : les tuyauteries (1) et (2) sont reliées, le système fonctionne alors en circuit fermé ;
- en mode inspiratoire : les tuyauteries (1) et (2) sont déconnectées afin de s'affranchir des artefacts causés par le fonctionnement en circuit fermé.

Le circuit « respirateur » utilisé lors de la précédente étude [11] a été entièrement modifié pour réduire ses dimensions et garantir une parfaite étanchéité des conduites. Cette partie du circuit est désormais entièrement rigide. L'étanchéité du montage a été testée lors d'essais de fuite à l'hélium. Cependant, il s'est avéré impossible de rendre étanche la partie « humidification » de ce respirateur au niveau du bloc de chauffage. Nous n'avons donc pu réaliser que des essais avec un air à humidité ambiante. Par ailleurs, comme nous l'expliquerons dans le § 3 « Résultats principaux », la sortie expiratoire du respirateur est dirigée dans la cabine : le flux d'air expiratoire ne passe plus vers la tête (les coudes (1) et (2) de la figure 2 ne sont plus connectés). Cependant, une soupape bloquante empêche toute entrée d'air dans le circuit.



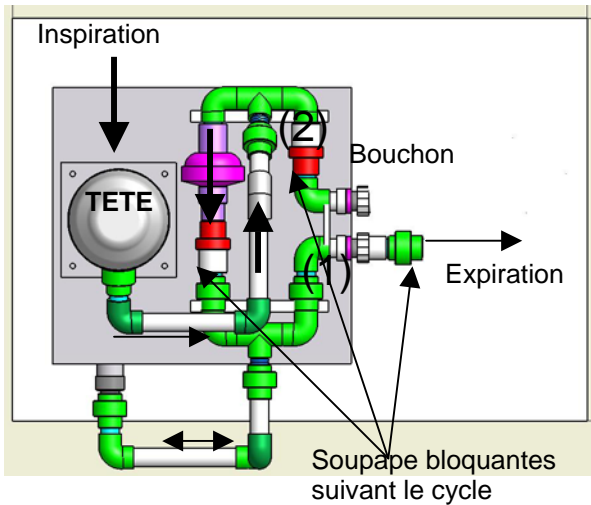


Figure 2. Schéma de principe et photographie du respirateur

### 2.3 - Choix des débits ventilatoires ( $D_v$ )

Pour les essais, nous avons retenu des débits moyens ventilatoires ( $D_v$ ) représentatifs de situations réelles de travail [13]. Comme les dégradations de fuites avaient été obtenues à de faibles débits ventilatoires (inférieurs ou égaux à  $20 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ), nous avons aussi pris en compte cette situation de respiration normale sans effort. Le tableau 1 décline, suivant neuf couples de rythme  $F$  ( $\text{cycles}\cdot\text{min}^{-1}$ ) et volume  $V$  ( $\text{L}\cdot\text{cycle}^{-1}$ ), des valeurs de débits, respectivement  $15$ ,  $30$  et  $60 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Les valeurs sont des valeurs moyennes de débits ventilatoires sinusoïdaux en sortie de la machine. Les débits de pointe pouvant être simulés avec la machine à respirer sont obtenus en multipliant le débit moyen par  $\pi$  ( $D_{\text{crête}} = \pi \cdot D_v$  en fonctionnement sinusoïdal). Ces valeurs plus importantes de débits sont actuellement prises en compte dans plusieurs études [14-17] et dans les normes ISO 8996 et 16976-1 portant sur les activités de travail à simuler dans les exercices de fuite faciale.

$D_v = 15 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$		$D_v = 30 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$		$D_v = 60 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$	
F ( $\text{cycles}\cdot\text{min}^{-1}$ )	V ( $\text{L}\cdot\text{cycle}^{-1}$ )	F ( $\text{cycles}\cdot\text{min}^{-1}$ )	V ( $\text{L}\cdot\text{cycle}^{-1}$ )	F ( $\text{cycles}\cdot\text{min}^{-1}$ )	V ( $\text{L}\cdot\text{cycle}^{-1}$ )
7	2,14	15	2	24	2,5
10	1,5	20	1,5	30	2
15	1	30	1	40	1,5

Tableau 1. Couples rythme et volume respiratoire appliqués aux débits ventilatoires

## 2.4 - Masques retenus pour les essais

Les masques retenus pour l'étude sont des masques du commerce, en général de taille moyenne. Ils ont reçu un visa d'examen « CE » de type, suivant les normes européennes harmonisées EN 136 [18] et EN140 [19] respectivement pour un masque complet et un demi-masque.

Les sept masques complets testés (référencés MC1 à MC7 dans les tableaux de résultats) sont constitués de pièces faciales en matériau souple de type élastomère EPDM ou silicone. Les quatre demi-masques sont référencés DM1 à DM4 et bien entendu certifiés suivant EN 136.

Tous ces masques sont équipés de filtres très haute efficacité afin d'évaluer la fuite des appareils de protection respiratoire uniquement en termes de fuite faciale :

- les masques avec raccord vissant Rd40 sont munis d'un filtre P3 dont la pénétration moyenne mesurée dans les conditions de la norme EN143 est de 0,0007 % ;
- les masques à raccord type baïonnette sont équipés de deux filtres spécifiques EN143 (pénétration mesurée de 0,0008 %).

Nous avons réalisé des essais de "fuite totale vers l'intérieur" pour chacun des masques choisis en nous limitant à trois essais par masque au lieu de dix compte tenu du temps imparti pour l'étude et de la disponibilité des médecins investigateurs nécessaires à l'application de la loi Huriet. Toutes les valeurs obtenues sont conformes aux recommandations de la norme d'essai EN 13274-1.

## 2.5 - Choix de l'appareil de mesure portatif (CNC-Portacount 8020 de TSI)

Dans la perspective d'essais en entreprises, nous avons recherché un instrument de mesure transportable. Nous nous sommes orientés, pour la mesure de fuite, vers un compteur de particules à noyau de condensation (CNC) autonome. Cet instrument [20], unique sur le marché, est utilisé principalement dans les pays anglo-saxons pour réaliser des mesures quantitatives d'ajustage de masque individuel dans les entreprises (appelés communément « fit test »). Cet appareil, en mesurant simultanément la concentration en nombre de particules par  $\text{cm}^3$  dans l'environnement ambiant de l'opérateur et dans le masque, permet de calculer le ratio  $C_{\text{ambiant}}/C_{\text{masque}}$  appelé Fit Factor (FF). Ce rapport est l'inverse de la fuite retenue dans les normes européennes, soit  $FF = 1/P$ . A titre d'exemple, une valeur de fuite faciale de 0,05 % pour un masque complet correspond à une valeur de Fit de 2 000.

Un logiciel, associé à cet appareillage, permet d'acquérir et de calculer directement, à partir d'une série d'exercices de simulation (différents des exercices européens par l'absence de marche forcée), la fuite totale vers l'intérieur (T.I.L. pour Total Inward Leakage). La formule générale qui relie le TIL aux facteurs cumulatifs de fuites au niveau d'un masque respiratoire à pression négative est rappelée ci-après :

$$\text{T.I.L.} = \text{Fvi} + \text{Fcf} + \text{Fex} + \text{Fd}$$

avec

- Fvi : fuite faciale au visage,
- Fcf : fuite à travers le filtre à particules,
- Fex : fuite à travers la valve d'expiration,
- Fd : toute autre fuite non identifiée.

Les caractéristiques de cet instrument sont les suivantes :

- gamme granulométrique entre 0,02  $\mu\text{m}$  et plus de 1  $\mu\text{m}$  ;
- gamme de concentration entre 0,01 et  $5 \cdot 10^5$  particules. $\text{cm}^{-3}$  ;
- précision du FF (Cambiant/Cmasque) de  $\pm 10$  %.

Comme tout compteur de particules, cet instrument ne différencie pas les particules. Il prend en compte aussi bien les particules ambiantes que celles expirées éventuellement par la bouche de l'opérateur, les fumeurs par exemple. Ce léger inconvénient, cité dans plusieurs études [21-24], est limitant si la concentration ambiante est faible. Le constructeur impose une présence minimale en ambiance de 1 500 particules. $\text{cm}^{-3}$ , valeur facilement détectée dans un atelier pollué où règne généralement une concentration dix fois plus élevée.

Cet appareillage est très largement utilisé et cité dans de nombreuses études du NIOSH [25-28] et, depuis quelques années, par le H.S.L. Celles-ci visent à rechercher une corrélation entre le facteur de protection mesuré in-situ et les valeurs du FF (Fit Factor) lors d'exercices de simulation de travail. Avec cet appareil, nous avons pu, sur un sujet d'essai, tester l'influence d'une fuite volontaire sur un masque complet à l'emplacement d'une ancienne sonde de prélèvement non parfaitement obturée. La détection de la fuite par l'appareil est alors remarquable ( $\text{FF} < 100$  avec ou sans génération de sel) alors que ce masque est conforme initialement ( $\text{FF} \gg 2\ 000$ ). De plus, durant tous nos essais, nous avons pu apprécier les performances du CNC type Portacount car il permet de déceler, en quasi-temps réel, une pose de masque déficiente sur la tête factice. Cet avantage a été déterminant pour les demi-masques et pour deux masques complets qui présentent, de par leur configuration d'élastomère, une étanchéité délicate à faire sur la tête Sheffield.

## 3. RESULTATS PRINCIPAUX

### 3.1 - Essais préliminaires de la machine à respirer avec un fonctionnement INSPIRATION - EXPIRATION

Dans les conditions de fonctionnement identiques aux essais conduits par Martin et al [11], c'est-à-dire en cycles inspiratoire - expiratoire dans un circuit respirateur fermé, les essais préliminaires avec un masque complet n'ont pas conduit à l'obtention de fuites inférieures à 0,05 % ou équivalent à  $FF > 2\ 000$ . De plus, en simulant un masque parfait, nous n'avons pu obtenir les valeurs attendues. Seul un fonctionnement en mode inspiratoire du circuit a permis de mesurer des valeurs très faibles de pénétration. Ce phénomène s'explique par une re-circulation des particules présentes dans tout le circuit du montage (MAR et conduites). En effet, ce circuit, pour des raisons de simplicité pour le transport, ne comporte pas d'électro-vannes pouvant séparer nettement la conduite inspiratoire de la conduite expiratoire. Il y a donc une possibilité de rétention des particules au cours du temps, dommageable pour mesurer de faibles fuites. Cet artefact pourrait aussi expliquer les valeurs anormalement élevées de fuites trouvées lors de la précédente étude.

### 3.2 - Essais retenus circuit INSPIRATION

#### 3.2.1 - Essais avec les masques complets

Les essais, décrits ci-dessous, correspondent à des mesurages sur un circuit en mode inspiratoire. Pour chacun des masques, nous avons mesuré l'influence du débit ventilatoire, y compris les paramètres associés : volume et rythme respiratoires. Ces tests d'influence ont été menés avec plusieurs concentrations ambiantes dans la cabine :

- utilisation de particules ambiantes présentes dans l'atelier d'essai, soit entre 7 000 et 20 000  $p.cm^{-3}$  suivant les journées d'expérience (cf. tableau 2) ;
- utilisation d'une solution mère de génération de concentration égale à 0,4 % de NaCl pour ne pas saturer l'appareil de mesure CNC (cf. tableau 3) ;
- utilisation d'une solution mère de génération à 2 % de NaCl spécifiée dans la norme EN 13274 (2001) avec mise en place d'un étage de dilution sur la concentration ambiante dans la cabine lors des mesures avec le Portacount (cf. tableau 4). Le tableau 5 mentionne les résultats de mesures avec le photomètre de flamme. Ce dernier cas nous permet alors de comparer les réponses en termes de fuites entre le photomètre de flamme Moores et le CNC-Portacount.

Pour chacun des masques, les données ont été testées par une analyse statistique de type ANOVA pour émettre des hypothèses de linéarité fortes entre les paramètres FF (ou 1/P), débit (Dv), F (rythme respiratoire) et V (volume) à un niveau de confiance d'au moins 95 % ( $P < 0,05$ ).

Dv	F	V	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7
15	15	1,0	31 800	11 400	49 200	34 700	24 000	48 200	19 300
	10	1,5	44 000	14 200	46 200	38 500	16 500	47 300	12 500
	7	2,1	40 400	16 100	46 100	32 800	21 500	24 100	10 800
30	15	2,0	23 900	11 200	43 600	22 100	9 410	32 700	13 500
	20	1,5	23 000	11 100	40 900	25 200	11 100	28 500	16 700
	30	1,0	23 300	10 200	37 600	21 000	10 300	18 700	14 400
60	24	2,5	12 700	12 600	19 600	28 399	7 260	6 320	4 310
	30	2,0	13 800	12 200	14 800	22 400	7 960	6 140	3 590
	40	1,5	12 000	14 400	23 300	30 900	7 440	4 980	3 670

**Tableau 2. Valeurs des FF (1/P) mesurées avec le CNC Portacount8020 dans la cabine sans sel**

Remarque : les variations de la concentration ambiante de l'atelier sur une journée sont inférieures à 10 % de la valeur moyenne. D'un jour à l'autre, la teneur ambiante peut varier de 7 000 à 20 000 particules.cm<sup>-3</sup>. Les valeurs concernant le masque « MC5 » sont obtenues après un positionnement très précis sur la tête factice pour limiter la fuite, notamment au niveau des tempes.

Dv	F	V	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7
15	15	1	7 920	5 540	24 800	15 000	981	30 500	4 180
	10	1,5	8 910	5 270	23 500	12 400	967	22 000	3 690
	7	2,14	8 080	6 280	18 700	8 330	988	30 200	3 020
30	15	2	5 090	8 310	18 600	7 500	710	19 900	3 060
	20	1,5	4 850	7 750	19 600	7 160	694	18 700	3 240
	30	1	4 710	7 140	17 600	7 260	726	17 500	3 040
60	24	2,5	5 690	14 300	14 100	4 380	432	4 210	1 640
	30	2	5 330	14 300	13 800	4 520	444	4 200	1 620
	40	1,5	5 170	14 400	13 100	4 020	446	3 980	1 710

**Tableau 3. Valeurs des FF (1/P) mesurées avec le CNC Portacount 8020 dans la cabine avec génération de particules de sel à partir d'une solution mère à 0,4 % de NaCl**

Dv	F	V	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7
15	15	1	11 700	7 390	5 640	5 290	1 010	30 900	8 800
	10	1,5	12 000	8 430	7 770	3 300	1 000	27 600	9 640
	7	2,14	9 670	6 190	8 820	2 910	1 030	23 400	8 710
30	15	2	8 360	4 150	6 150	2 670	430	21 800	7 980
	20	1,5	8 440	3 890	5 860	3 550	410	22 700	9 000
	30	1	6 510	3 820	5 740	3 650	430	23 500	9 870
60	24	2,5	4 980	3 640	4 750	3 650	230	6 590	3 800
	30	2	5 080	3 350	4 500	3 390	220	7 230	3 840
	40	1,5	4 620	3 620	4 050	2 980	210	6 630	3 770

**Tableau 4. Valeurs des FF (1/P) mesurées avec le CNC Portacount 8020 dans la cabine avec génération de particules de sel à partir d'une solution mère à 2 % de NaCl**

Dv	F	V	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7
15	15	1	6 250	1 900	8 850	10 990	4 770	2 640	3 810
	10	1,5	7 470	2 070	6 180	11 770	4 550	2 810	4 150
	7	2,14	9 100	1 970	7 300	9 100	4 770	3 540	4 120
30	15	2	10 420	1 910	5 620	10 760	4 680	3 590	4 470
	20	1,5	10 000	1 970	9 100	8 550	4 680	3 760	3 900
	30	1	11 120	2 000	9 100	11 500	4 430	3 590	6 810
60	24	2,5	12 500	2 440	10 870	11 120	5 110	3 810	6 720
	30	2	12 500	3 340	11 120	9 350	5 380	3 750	7 700
	40	1,5	11 770	3 420	*	*	5 000	4 570	8 200

\* Valeurs non mesurées

**Tableau 5. Valeurs des FF (1/P) mesurées en continu avec le photomètre de flamme Moores dans la cabine génération de particules de sel à partir d'une solution mère à 2 % de NaCl**

Le tableau 6 indique les ratios des valeurs de fuite par instrument de mesures, soit la valeur du CNC sur la valeur du PF en fonction des masques et débits ventilatoires. Les masques ont des performances variables en termes de fuite. Le CNC-Portacount détecte, pour la majorité d'entre eux, une fuite plus faible lors du fonctionnement de la MAR à de faibles débits ventilatoires (15 L.min<sup>-1</sup>). Inversement, aux plus forts débits (60 L.min<sup>-1</sup>), le photomètre de flamme détecte une plus faible fuite.

Débit	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7
15	1,9	3,9	0,6	0,5	0,2	11,7	2,3
	1,6	4,1	1,3	0,3	0,2	9,9	2,3
	1,1	3,2	1,2	0,3	0,2	6,6	2,1
30	0,8	2,2	1,1	0,2	0,1	6,1	1,8
	0,8	2,0	0,6	0,4	0,1	6,0	2,3
	0,6	1,9	0,6	0,3	0,1	6,6	1,5
60	0,4	1,5	0,4	0,3	0,05	1,7	0,6
	0,4	1,0	0,4	0,4	0,04	1,9	0,5
	0,4	1,1	*	*	0,04	1,5	0,5

\*Valeurs non mesurées

**Tableau 6. Ratios des valeurs de fuite CNC-Portacount sur photomètre de flamme Moores pour une solution mère à 2 % de NaCl**

### 3.2.2 - Analyses statistiques des données et discussions

Le tableau 7 indique les statistiques (à partir de STATGRAPHICS®) d'un modèle de régression linéaire entre la fuite et l'augmentation des débits respiratoires, facteur principal de nos essais. Les valeurs sont données en fonction des trois cas décrits ci-dessus et pour chacun des instruments.

	R carré			Probabilité			Coeff. Corrélation CNC		
	ambient	0,4 % NaCl	2 % NaCl	ambient	0,4 % NaCl	2 % NaCl	ambient	0,4 % NaCl	2 % NaCl
MC1	84%	41,60%	84,00%	<0,01	<0,1	<0,01	-0,92	-0,645	-0,93
MC2	0,30%	98%	61%	>0,1	<0,01	<0,01	-0,05	0,989	-0,78
MC3	94%	82%	67,80%	<0,01	<0,01	<0,05	-0,971	-0,905	-0,82
MC4	18%	72%	5,70%	>0,1	<0,01	>0,1	-0,425	-0,848	-0,24
MC5	68%	96%	80%	<0,01	<0,01	<0,05	-0,826	-0,848	-0,89
MC6	78,40%	94%	94%	<0,01	<0,01	<0,05	-0,885	-0,97	-0,97
MC7	71%	89%	86%	<0,01	<0,01	<0,01	-0,844	-0,94	-0,93
			<b>PFMoores</b>			<b>PFMoores</b>			<b>PFMoores</b>
MC1			77,50%			<0,01			0,88
MC2			70%			<0,01			0,84
MC3			55,70%			<0,05			0,746
MC4			1,55%			>0,1			-0,124
MC5			61%			<0,05			0,78
MC6			58%			<0,05			0,763
MC7			76%			<0,01			0,874

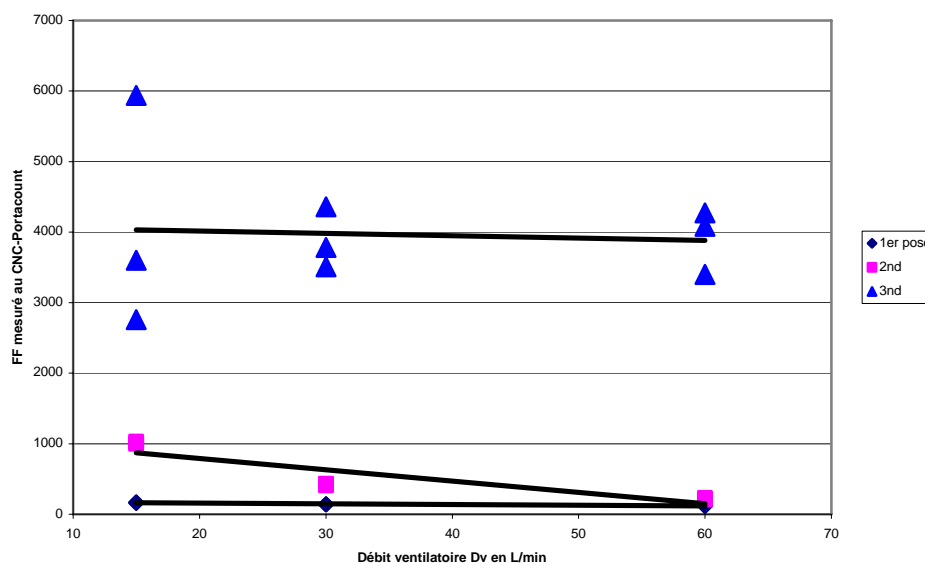
**Tableau 7. Valeurs des R<sup>2</sup>, des probabilités et coefficients de corrélation des analyses de régressions linéaires**

Suite à cette analyse, on observe :

- une meilleure linéarité entre facteur de fuite et débit ventilatoire lors des essais avec le CNC-Portacount ;
- une influence prépondérante du facteur rythme respiratoire (F) sur l'efficacité mesurée par le CNC.

Les valeurs d'ajustage, mesurées dans cette configuration expérimentale, sont situées pour la plupart au-dessus des valeurs recommandées pour ce type de masque :  $FF > 2\ 000$ , donc des fuites inférieures à 0,05 % et conformes aux exigences normatives. Il existe, pourtant, quelques anomalies observées sur certains masques et entre méthodes de mesure que nous détaillons ci-après.

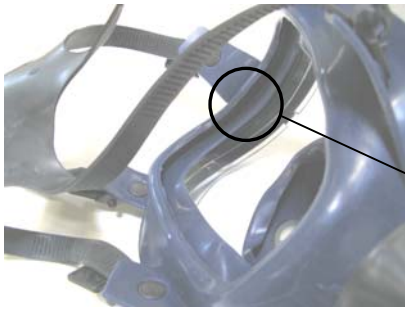
Ainsi, le masque type « MC5 » présente des caractéristiques très différentes, suivant les poses, lors des essais avec une solution mère de génération à 2 % de NaCl (cf. graphe 1).



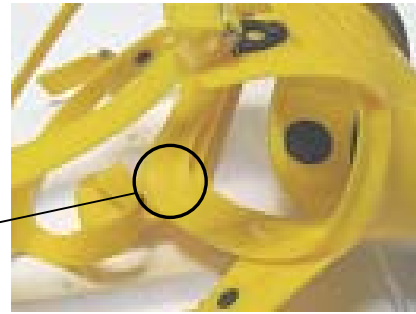
**Graphe 1. Effets de plusieurs poses du masque « MC5 » sur la tête factice**

Cette anomalie est révélatrice d'un masque pour lequel la tête factice s'avère inadaptée. Une forme d'élastomère inversée et rigide (pas de contact ventouse comme sur les autres masques complets, mais un contact tangentiel) est responsable de cette mauvaise étanchéité (cf. photographies 1 et 2). On notera, ici, que la pose de ce masque sur des sujets d'essais n'a pas révélé de fuites anormales, supérieures aux valeurs normatives.





joint facial différent

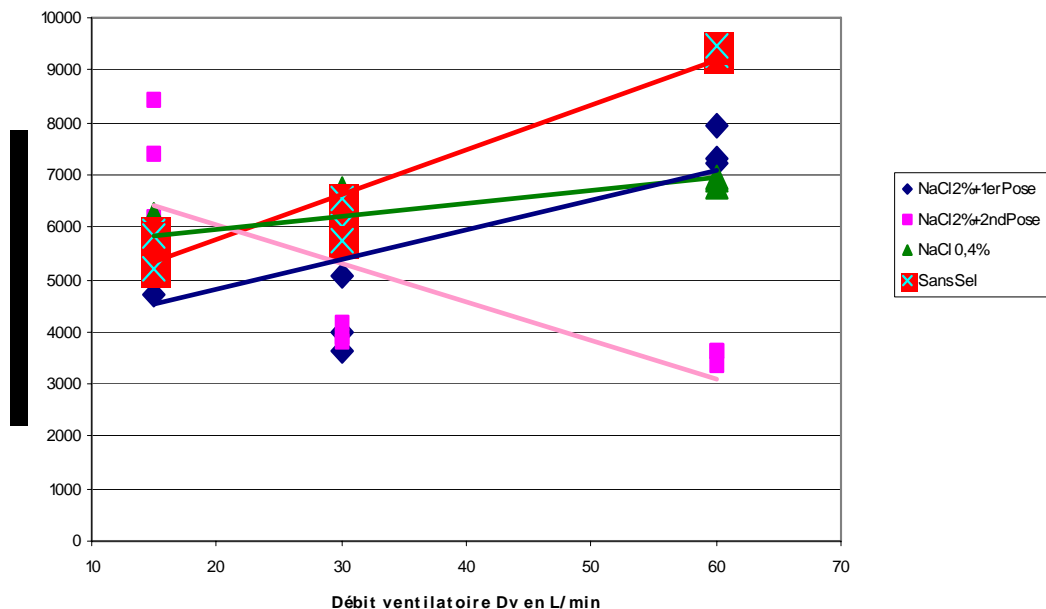


Photographie 1 - Masque « MC5 »

Photographie 2 - Masque « MC2 »

Par ailleurs, lors des mesures avec le CNC-Portacount, le masque « MC2 » présente, suivant diverses poses et concentrations de NaCl, une pente différente comme indiqué sur le graphe 2.

La fuite, en fonction des débits ventilatoires, diminue (sauf pour une série d'essais avec un changement de pose) lorsque les débits augmentent, comme cela se produit lors des mesures avec le photomètre de flamme pour tous les masques. Ce masque possède un élastomère très souple, sans doute à l'origine de ce changement de pente lors des essais avec la tête factice.

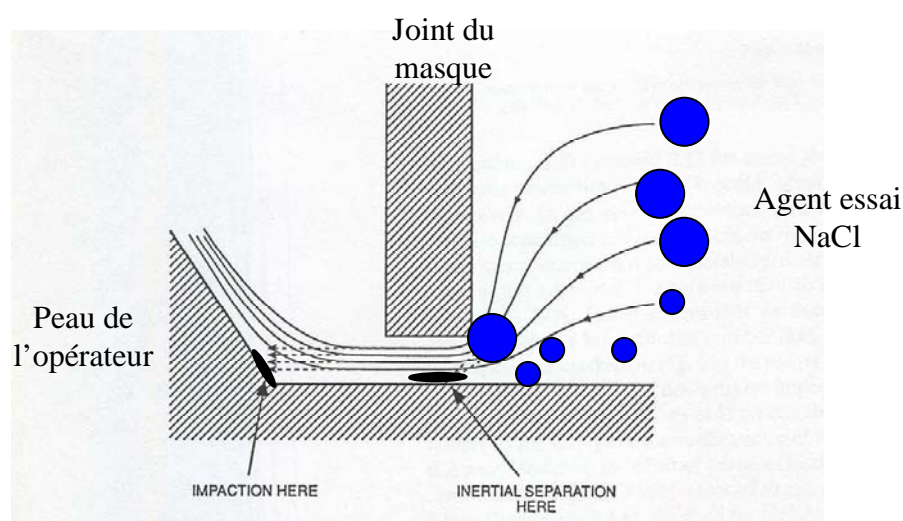


Graph 2. Effets de plusieurs poses du masque « MC2 » et de plusieurs concentrations de NaCl sur la tête factice

Nous pouvons retenir que, d'un point de vue métrologique, les essais avec une concentration ambiante faible ne sont pas représentatifs des performances réelles du masque. Une étude canadienne [29] a montré ainsi la nécessité d'avoir un nombre de particules relativement élevé ( $> \text{à } 40\,000 \text{ p.cm}^{-3}$ ) lors de l'utilisation du CNC Portacount pour tester des masques à très haute efficacité.

Les variations de fuite, en fonction du débit ventilatoire, déterminées par le photomètre de flamme et le CNC (cf. graphes 3 à 6 en annexe) sont inversées. Ce dernier indique une nette tendance de la dégradation des performances du masque (sauf pour le masque « MC2 ») lorsque le débit ventilatoire augmente. A contrario, les mesures effectuées avec le photomètre de flamme confirment les tendances observées dans la précédente étude [11] (cf. graphe 6 en annexe).

Une explication possible de ce résultat est liée probablement à la différence de méthodes d'analyses des particules (en masse ou en nombre). De nombreuses études sur l'efficacité de filtration mettant en oeuvre ces méthodes analytiques montrent peu de corrélations entre ces deux principes de mesure. Il est ainsi difficile de trancher quant à la fiabilité des résultats lors de tels essais. Le photomètre semble donner un poids plus important aux particules de grand diamètre ( $> 1\mu\text{m}$ ) par rapport au Compteur à Noyau de Condensation. Les particules se comportent différemment à l'interface masque - peau du sujet (cf. figure 3). Le CNC, plus sensible aux fines particules [30] présentes dans l'agent d'essai, est ainsi plus propice à détecter une fuite faciale pour les débits ventilatoires élevés. Seule une analyse plus fine par classe granulométrique permettrait de corroborer l'hypothèse avancée ci-dessus.



**Figure 3. Impaction prépondérante pour les particules de diamètre important**

### **3.2.3 - Essais avec les demi-masques**

Nous ne présentons aucun résultat car la tête factice n'est pas adaptée aux tests de performance de ces masques. Les biais de mesure dus à la pose se révèlent trop importants pour que l'influence des débits ventilatoires puisse être étudiée correctement avec ce type de masque.

Néanmoins, le CNC s'est avéré très adapté à la détection de fuites lors de ces essais . Le simple pincement manuel, par exemple de l'élastomère du masque au niveau du nez de la tête factice, conduit à une nette amélioration de l'étanchéité. Sur une tête humaine, cette adaptation est plus facile à corriger avec la texture de la peau humaine. Elle permet ainsi de limiter les fuites à cet endroit et d'obtenir des résultats conformes aux exigences de la norme.

### **3.3 - Essais de terrain avec le dispositif CNC- Portacount**

Des essais de terrain ont pu être menés sur des postes de ponçage de fuselage d'avion avec l'instrument de mesures Portacount. Un double prélèvement permet de calculer le facteur d'ajustement (FF pour Fit Factor en anglais) à partir de la concentration moyenne ambiante et celle dans le masque en procédant à des simulations de travail qui peuvent être variables suivant les normes d'essais. Pour nos essais expérimentaux, nous avons retenu, pour les mesures en ambiance neutre (hors du poste de travail), les exercices ci-après qui sont proches des exercices de la norme européenne mais sans le tapis de marche à  $6 \text{ km.h}^{-1}$  qui permet de simuler une activité importante de travail :

- respiration normale pendant une minute
- respiration profonde (1 minute)
- déplacement de la tête droite-gauche (1 minute)
- déplacement de la tête haut-bas (1 minute)
- grimaces (15 secondes)
- récitation de l'alphabet (1 minute)
- respiration normale (1 minute).

Puis, après ces exercices, l'opérateur, exposé aux particules de ponçage, était équipé de l'instrument de mesure Portacount. A l'aide d'une transmission sans fil à un PC portable (dispositif Bluetooth), nous avons pu alors piloter à distance les acquisitions et récupérer les données suivant divers prélèvements temporaux. Une des contraintes de l'appareil est d'imposer les mesures sur des opérateurs non-fumeurs et dans une ambiance relativement chargée en fines particules. Ces contraintes ont pu globalement être respectées sauf dans les zones de l'atelier les mieux ventilées. La concentration en fines particules descendait alors en dessous des 1 500 particules.cm<sup>-3</sup> nécessaires à une bonne précision d'analyse.

Les tableaux 9, 10 et 11 indiquent les valeurs de fuites d'ajustement (FF) par masque avec trois opérateurs différents. La dernière colonne de chaque tableau indique le repérage temporel des mouvements de l'opérateur suivant les acquisitions du compteur de particules avec une précision de l'ordre de la minute. Les observations repérées ne sont données, ici, qu'à titre indicatif compte tenu de la faible précision découlant de cette double base temporelle (celle du PC enregistrant les valeurs du Portacount et celle du repérage avec une montre).

Quelques masques testés sont similaires à ceux choisis au cours de l'étude de laboratoire, comme les masques MC1 et MC7.

Type de masque	Opérateur et lieu	Type essai	Camb (p.cm <sup>-3</sup> )	FF	temps (s)	mouvements opératoires
<b>Masque complet type MC1</b> Taille médium avec filtre à particules P100	<b>Opérateur 1</b> Dans le hall de fabrication (hors du poste)	Respiration normale	1940	3900	80	* valeurs non fiables
		Respiration profonde		6870	160	
		Tête droite-gauche		10500	240	
		Tête haut-bas		8360	320	
		Grimace		4100	355	
		Alphabet		511*	435	
	Respiration normale	262*	495			
	<b>Opérateur 1</b> Poste de travail 1 <sup>ère</sup> série de 90s chacune	acqu1 Ponçage	9010	3470	90	Discussion
		acqu2 Ponçage		11800	180	Ponçage bras en l'air
		acqu3 Ponçage		5620	270	
		acqu4 Ponçage		40500	360	
		acqu5 Ponçage		30900	450	
acqu6 Ponçage		28400		540	Ponçage bras en l'air	
acqu7 Ponçage		23400		630		
acqu8 Ponçage		23800		720		
acqu9 Ponçage		8060		810		
acqu10 Ponçage		26800		900		
acqu11 Ponçage		15400		990		
acqu12 Ponçage		21700		1080		
Même masque et même pose	<b>Opérateur 1</b> Poste de travail 2 <sup>ème</sup> série de 90s chacune	acqu1 Ponçage	6730	15600		90
		acqu2 Ponçage		3710	180	
		acqu3 Ponçage		16400	270	
		acqu4 Ponçage		8980	360	A genoux, tête vers le bas
		acqu5 Ponçage		12000	450	
		acqu6 Ponçage		3000	540	
		acqu7 Ponçage		17200	630	
		acqu8 Ponçage		19500	720	
		acqu9 Ponçage		5980	810	Nettoyage
		acqu10 Ponçage		31600	900	Ponçage bras en l'air
		acqu11 Ponçage		7640	990	
		acqu12 Ponçage		7800	1080	

**Tableau 9. Masques « type MC1 » avec un filtre à particules P100**

Type de masque	Opérateur et lieu	Type essai	Camb (p.cm <sup>-3</sup> )	FF	Temps (s)	Mouvements opératoires
<b>Masque type MC7</b> et même pose	<b>Opérateur 2</b> Dans le bureau	Respiration normale Respiration profonde Tête droite-gauche Tête haut-bas Grimace Alphabet Respiration normale	4610	35900 24400 17200 11300 5370 3600 40600	60 120 180 240 275 335 395	
Même masque et même pose	<b>Opérateur 2</b> Au ponçage 1 <sup>ère</sup> série acquisition	acqu1 Ponçage acqu2 Ponçage acqu3 Ponçage acqu4 Ponçage acqu5 Ponçage	3590	16700 11100 15400 10300 10300	60 120 180 240 300	Debout bras en l'air  Bras au-dessus tête
Même masque et même pose	<b>Opérateur 2</b> 2 <sup>ème</sup> série acquisition de 60s chacune	acqu1 Ponçage acqu2 Ponçage acqu3 Ponçage acqu4 Ponçage acqu5 Ponçage	4800	17900 8520 21600 15300 11700	360 420 480 540 600	Bras au-dessus tête Bras au-dessus tête  Bras au-dessus tête
Même masque et même pose	<b>Opérateur 2</b> 3 <sup>ème</sup> série acquisition de 60s chacune	acqu1 Ponçage acqu2 Ponçage  acqu3 Ponçage acqu4 Ponçage acqu5 Ponçage	4550	10400 10700  19400 12200 11000	660 720  780 840 900	Bras au-dessus tête Courbé, tête sur le côté  Ponçage devant les yeux

**Tableau 10. Masques « type MC7 » avec deux filtres à particules P3**

Type de masque	Opérateur et lieu	Type essai	Camb	FF	Temps (sec)	Gestes
<b>Masque type MC7</b> Taille médium et 2 filtres P3	<b>Opérateur 3</b> Local sas accès	Respiration normale Respiration profonde Tête droite-gauche Tête haut-bas Grimace Alphabet Respiration normale	4700	19900 27500 20800 21200 4410 8600 20900	60 120 180 240 275 335 395	Voir exercices du test
<b>Même masque</b> et filtres A2P3	<b>Opérateur 3</b> Local sas accès	Respiration normale Respiration profonde Tête droite-gauche Tête haut-bas Grimace Alphabet Respiration normale	5070	10100 7360 15600 8870 2290 4040 10500	60 120 180 240 275 335 395	Voir exercices du test
<b>Même masque</b> Essais avec 2 filtres P3 et cagoule anti-humidité	<b>Opérateur 3</b> Local sas accès	Respiration normale	3940	<b>310</b>	60	Un seul exercice

**Tableau 11. Masques « type MC7 » avec divers filtres sur le masque**

Remarque : Les valeurs obtenues durant ces essais ne montrent pas de dégradations fortes de l'efficacité des masques. Les valeurs de fuites trouvées, relativement faibles, sont en parfaite concordance avec les valeurs normatives pour ces masques complets à haute efficacité.

## 4. CONCLUSION

Cette étude montre, une nouvelle fois, la difficulté de dégager des tendances fortes lors d'essais avec une méthode de tests de masques sans sujet d'essai. Tous les masques ne sont pas adaptables à une tête factice comme nous l'avons montré avec tous les demi-masques et deux masques complets testés durant cette étude. Par ailleurs, même lorsque les masques complets sont bien adaptés à la tête, les résultats sont trop discordants entre les méthodes d'analyse. Néanmoins, les valeurs obtenues dans la configuration avec le CNC indiquent que les protocoles d'essais doivent être plus contraignants (tests avec des débits ventilatoires plus élevés pour les sujets d'essais). Ces propositions sont d'actualité dans les groupes de travail ISO, de même que d'autres orientations comme la représentativité des agents d'essais, le panel des sujets d'essais, etc.. Une autre approche serait de valider un appareillage de terrain qui mesurerait plus précisément les performances de masques en situation réelle de travail [31-32]. Le CNC-Portacount offre une possibilité d'avancer dans ce sens sans que pour l'instant nous ayons une parfaite garantie de résultats avec ce type d'appareil. Les essais sommaires, réalisés sur des opérateurs en situation réelle de travail, n'ont pas montré d'anomalies flagrantes lorsque les masques à haute efficacité étaient auparavant bien ajustés sur la tête du sujet. De plus, cet instrument a pu, par exemple, détecter rapidement des performances insuffisantes lorsque le masque porté présentait un manque d'entretien important (traces de peinture) ou qu'il était porté sur une cagoule faciale en tissu. Cet aspect sera plus largement abordé au cours de la nouvelle étude « Validation des méthodes de terrain pour évaluer l'étanchéité d'ajustage des masques respiratoires ».

Dans la perspective d'évolution des normes avec prise en compte de débits supérieurs ou de l'exposition à des aérosols de type bio-contaminants, il nous apparaît nécessaire de développer des moyens de mesures avec une machine à respirer et une tête factice qui soient les plus représentatifs d'une situation de respiration humaine. Des études complémentaires avec un matériel métrologique adapté (par taille de particules type SMPS) devront probablement être développées dans un avenir proche.

Par ailleurs, le groupe de travail ISO TC94/SC15/WG1/PG6 (classification des appareils de protection respiratoire) étudie la mise en place de valeurs plus strictes de fuite totale vers l'intérieur avec, pour conséquence directe, de proposer de nouvelles classes d'appareils (haut niveau à 0,01 %, soit cinq fois meilleure que la valeur actuelle pour un masque complet), mais également d'en supprimer. Les exercices de simulation de travail devraient, eux-aussi, prendre en compte de nouveaux rythmes de travail (jusqu'à 150 L.min<sup>-1</sup> pendant de courts instants). Des agents d'essais avec une granulométrie plus faible sont aussi à l'étude dans ces groupes de travail pour simuler des environnements de type particules ultra-fines par exemple. Les laboratoires de certification devront donc faire évoluer leur potentiel métrologique pour réaliser ces essais plus contraignants.

## 5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] HERY M, MEYER J.P., VILLA M., HUBERT G. , WROBEL. R. - Efficacité de demi-masques anti-poussières non ventilés en situation industrielle. Cahiers de Notes Documentaires INRS n° 154, 2<sup>ème</sup> trim. 1994, pp. 147-155.
- [2] MEYER J.P., HERY M., HUBERT G., FRANCOIS D., HECHT G., VILLA M. - Demi-masques à pression négative, influence des conditions de travail sur leur confort et leur efficacité. Cahiers de Notes Documentaires INRS n° 171, 1<sup>er</sup> trim. 1998, pp. 21-33.
- [3] POIROT P., GRZEBIK M. HERY M., POSSOZ C., SUBRA I. - Efficacité de masques anti-gaz à ventilation libre en situation industrielle. Cahiers de Notes Documentaires INRS n° 178, 1<sup>er</sup> trim. 2000, pp. 43-51.
- [4] LIU Y., STOWE M. H. - Respiratory Protection from Isocyanate Exposure in the Autobody Repair and Refinishing Industry. J. Occup. Environ. Hyg., 2006, 3(5): 234-249.
- [5] VAUGHAN N., RAJAN-SITHAMPARANADARAJAH B. - Meaningful Workplace Protection Factor Measurement: Experimental Protocols and Data Treatment. Ann. Occup. Hyg., 2005, 49(7): 549-561.
- [6] NICAS, M. NEUHAUS J. - Variability in Respiratory Protection and the Assigned Protection Factor. J. Occup. Environ. Hyg., 2004, 1: 99-109.
- [7] ZHUANG Z., COFFEY C. C., JENSEN P. A., CAMPBELL D. L., LAWRENCE R. B., MYERS W. R. - Correlation between quantitative fit factors and workplace protection factors measured in actual workplace environments at a steel foundry. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 2003, 64(6): 730-738.
- [8] WEBER R.A., MULLINS H.E. - Measuring Performance of a half-mask Respirator in a styrene Environment. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 2000, 61(6): pp. 415-421.
- [9] NELSON, T. J., JAYJOCK M. A. - How Protective Are Respirator Assigned Protection Factors: An Uncertainty Analysis. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 2000, 61(3): 388 - 393.

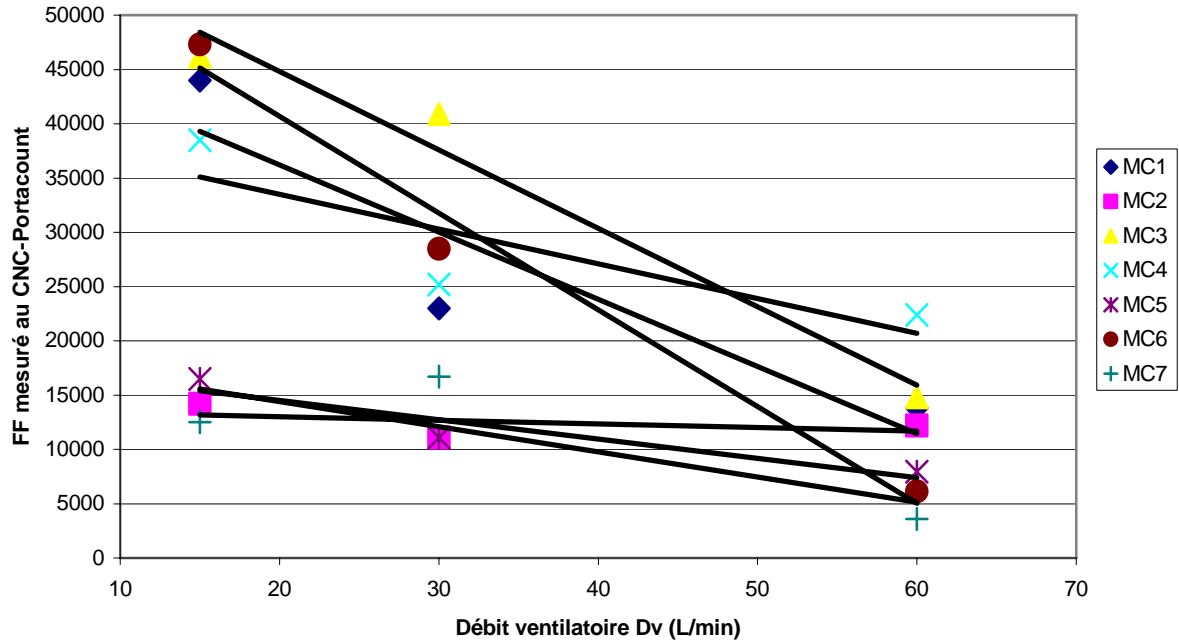


- [10] MYERS, W. R., ZHUANG Z. - Field Performance Measurements of Half-Facepiece Respirators: Steel Mill Operations. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1998, 59(11): 789-795.
- [11] MARTIN P., ROUSSEAU R., BRAND F. - Détermination des performances des masques anti-poussières à média filtrant classique. *Cahiers de Notes Documentaires INRS n° 197, 4<sup>ème</sup> trim. 2004*, pp. 21-29.
- [12] NORME EN 13274-1 (2001) - Appareils de protection respiratoires - Méthodes d'essai. Partie 1 : Détermination de la fuite vers l'intérieur et de la fuite totale vers l'intérieur.
- [13] MEYER J.P., HORWAT F. - Débit ventilatoire de travail. Document pour le Médecin du Travail INRS n° 76, 4<sup>ème</sup> trim. 1998, pp. 343 –350.
- [14] KAUFMAN, J. W., HASTINGS S. - Respiratory Demand During Rigorous Physical Work in a chemical Protective Ensemble. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2005, 2: 98-110.
- [15] SINKULE-E, TURNER-N - Metabolic and Respiratory Responses During the Performance of a One-Hour Man Test 4. *J Int Soc Respir Prot*, 2002, 19(1-2): 49-57.
- [16] BERNDTSSON, G., EKMAN L. - A New Simplified Technique for Measuring Inspiratory Flow Characteristics. *J. Int. Soc. Respir. Prot.*, 2003, 20: 91-101.
- [17] BERNDTSSON, G. - Peak Inhalation Air Flow and Minute Volumes Measured in a Bicycle Ergometer Test." *J. Int. Soc. Respir. Prot.*, 2004, 21(1-2): 21-29.
- [18] EN 136 (Mars 1998) : Appareils de protection respiratoire Masques complets Exigences, essais, marquage.
- [19] EN 140 (Décembre 1998) : Appareils de protection respiratoire Demi-masques et quarts de masques. Exigences, essais, marquage.
- [20] TSI, Inc.: PortaCount Plus Model 8020, Operation and Service Manual. TSI Inc, St. Paul, MN (2004).
- [21] ZHUANG Z., COFFEY C. C., LAWRENCE-RB - The effect of ambient aerosol concentration and exercise on Portacount quantitative fit factors. *J. Int. Soc. Respir. Prot.*, 2004, 21(Spring/Summer): 11-20.
- [22] CRUTCHFIELD, C. D., FAIRBANK E. O. - Effect of Test Exercises and Mask Donning on Measured Respirator Fit. *Appl. Occup. Env. Hyg.*, 1999, 14(12): 827-837.
- [23] MYERS. W.R., ALLENDER. J., PLUMMER. R., STOBBE. T. - Parameters That Bias the Measurement of Airborne Concentration Within a Respirator. *Am. Ind. Hyg.Assoc. J.*, 1986, 47(2): 106-114.
- [24] DA ROZA, R. A., BIERMANN A. H. - Evaluation of Portacount for determining respirator fit factors, Part III: human subject tests and comparison with an aerosol photometer. *J. Int. Soc. Respir. Prot. Prot*, 1991, 9: 22-37.
- [25] GARDNER P. D., HOFACRE K. C., RICHARDSON A. W. - Comparison of Simulated Respirator Fit Factors Using Aerosol and Vapor Challenges. *J. Occup . Environ. Hyg.*, 2004, 1: 29-38.

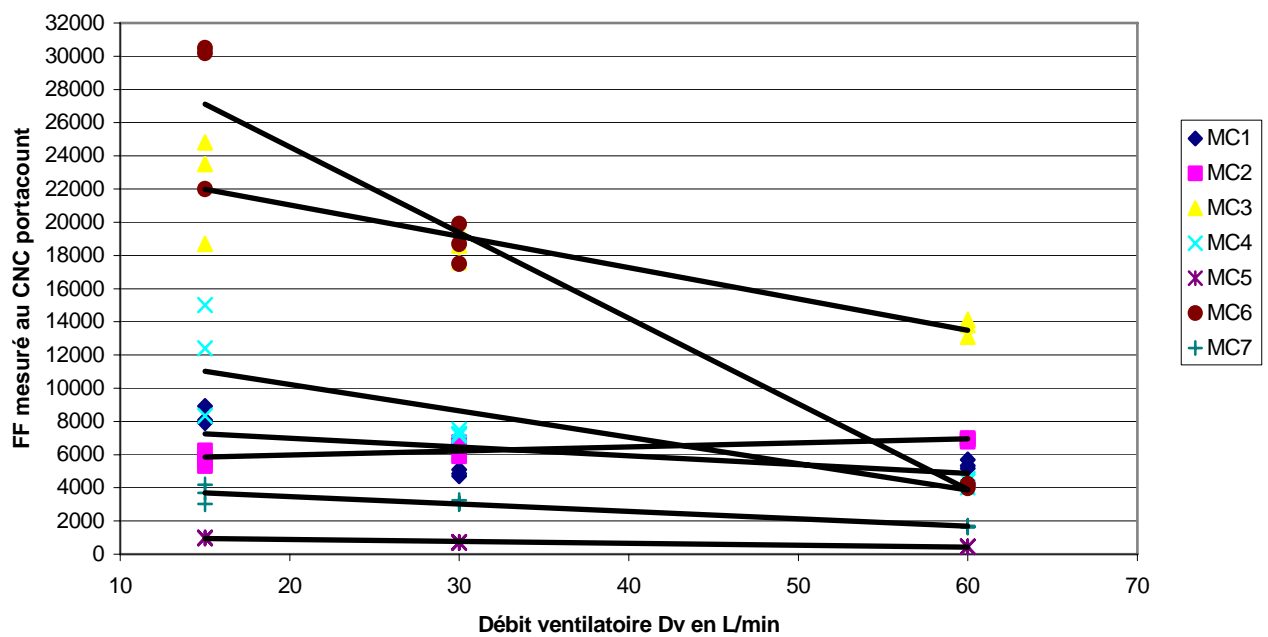
- [26] COFFEY C. C., LAWRENCE R. B., ZHUANG Z., DULING M., CAMPBELL D. L. - Errors Associated with Three Methods of Assessing Respirator Fit. *J. Occup . Environ. Hyg.*, 2006, 3(1): 44 - 52.
- [27] HAN D. H., LEE J. - Evaluation of Particulate Filtering Respirators Using Inward Leakage (IL) or Total Inward Leakage (TIL) Testing-Korean Experience. *Ann. Occup. Hyg.*, 2005, 49(7): 569-574.
- [28] CAMPBELL D. L., COFFEY C. C., JENSEN P. A. and ZHUANG, Z. - Reducing respirator fit test errors: a multi-donning approach. *J. Occup . Environ. Hyg.*, 2005, 2(8): 391-399.
- [29] HARRISON B. H., LIANG S. H. - Quantitative Fit Testing of Military Gas Masks with the TSI Portacount: Part II - Quantifying the Limitations and Recommendations for Use. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 2005, vol. 22.
- [30] BIERMANN A.H., BERGMAN W. - Filter penetration measurement using a condensation nucleu counter and an aerosol photometer. *Journal of Aerosol Science*, 1998, n°4, vol. 19, pp. 471-483.
- [31] GROVES, W., REYNOLDS S. J. - Prototype Sampling System for Measuring Workplace Protection Factors for Gases and Vapors. *Appl. Occup. Env. Hyg.*, 2003, 18(5): 394-402.
- [32] LEE, S.A., GRINSHPU S. A. - Laboratory and Field Evaluation of a New Personal Sampling System for Assessing the Protection Provided by the N95 Filtering Facepiece Respirators against Particles. *Ann. Occup. Hyg.*, 2005, 49(3): 245-257.

**- ANNEXE -**

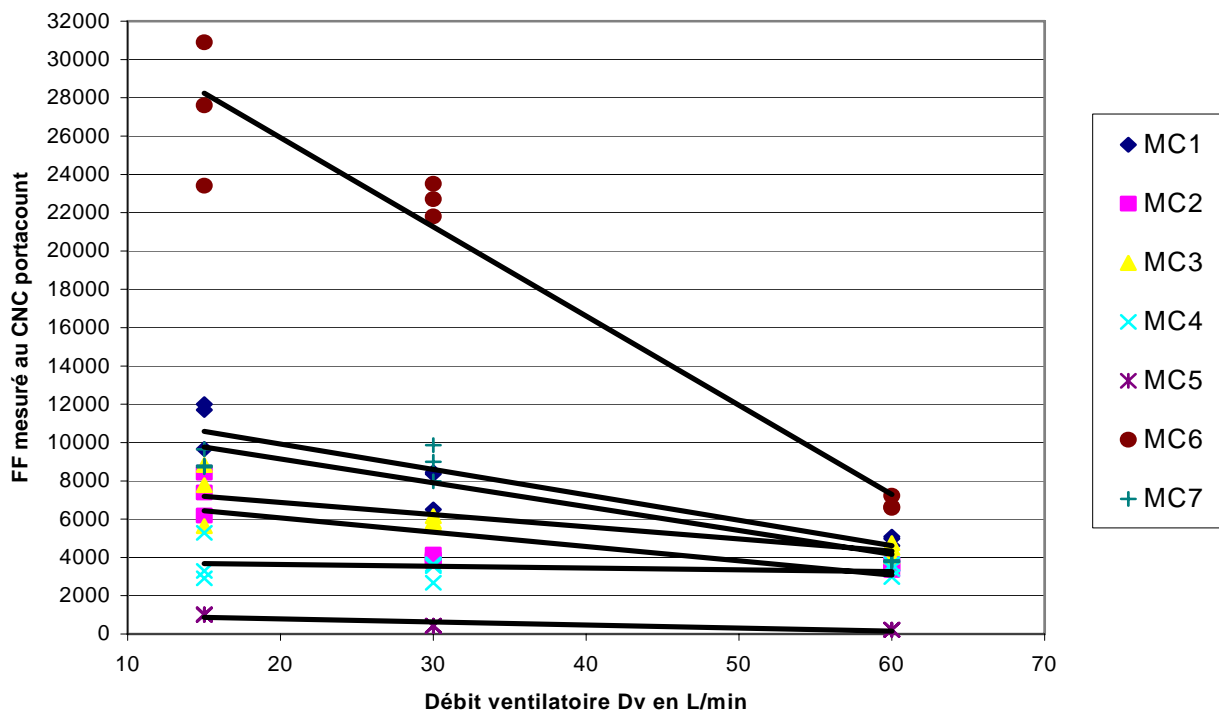
**Grappe 3 : Comparaison entre masques du FF- Portacount en ambiance neutre (sans sel)**



**Grappe 4 : Comparaison entre les masques complets du FF mesuré au CNC - Portacount avec NaCl 0,4%**



**Graphe 5 : Comparaison entre les masques complets  
du FF mesuré au CNC - Portacount  
avec NaCl 2%**



**Graphe 6 : Comparaison entre les masques complets  
du FF mesuré au PF Moores**

