

ROLES DU RYTHME RESPIRATOIRE ET DE L'AJUSTEMENT SUR L'EFFICACITE DE PROTECTION RESPIRATOIRE

A. Santandrea¹ et S. Chazelet¹

¹Laboratoire Procédés et Epuration des Polluants, Département Ingénierie des Procédés, Institut National de Recherche et de Sécurité, 1 rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandoeuvre Cedex, France
*Courriel de l'orateur : sandrine.chazelet@inrs.fr

TITLE

Effects of the breathing rate and fit factor on respiratory protection efficiency

RESUME

S'il est nécessaire qu'un appareil de protection respiratoire soit adapté à la fois au polluant et à la situation de travail afin de fournir le niveau de protection attendu, il est également primordial qu'il soit adapté à l'utilisateur. Les performances de deux masques complets, disponibles en différentes tailles, ont été évaluées en fonction de leur ajustement au visage et du rythme respiratoire du porteur à l'aide d'une tête factice connectée à une machine simulant une respiration sinusoïdale. L'importance du choix de l'appareil de protection respiratoire (modèle et taille) en fonction des dimensions du visage, notamment pour des activités intenses induisant un rythme respiratoire élevé, a ainsi été mise en évidence.

ABSTRACT

If a respiratory protective device needs to be adapted to both the pollutant and the working situation in order to provide the expected level of protection, its adaptation to the user is also essential. The efficiency of two full-facepiece respirators, available in several sizes, was evaluated varying the fit factor and the breathing rate using a respirator testing headform connected to a digital breathing machine simulating a sinusoidal respiration. The choice of the respiratory protective device (model and size) according to the face dimensions was evidenced to be of great importance, especially for intense activities inducing a high breathing rate.

MOTS-CLÉS : aérosol, filtration, ajustement, appareil de protection respiratoire / **KEYWORDS**: aerosol, filtration, fitting, respiratory protective device

1. INTRODUCTION

Lors du choix d'un appareil de protection respiratoire (APR), un salarié se trouve face à de nombreuses possibilités. Cependant, chaque appareil étant conçu pour s'adapter à une situation donnée, un choix réfléchi est primordial. Celui-ci repose sur les caractéristiques du polluant (nature, concentration, taille...), le niveau de protection requis et les paramètres liés aux conditions d'utilisation (INRS, 2019). Il convient ensuite de vérifier si l'appareil choisi est adapté au porteur afin d'obtenir le niveau de protection attendu. En effet, l'efficacité globale de l'appareil de protection respiratoire dépend de l'efficacité du filtre, définie dans la norme NF EN 143 (2021), des caractéristiques du masque (NF EN 136, 1998; NF EN 140, 1998) mais également de l'étanchéité de la pièce faciale, évaluée par un essai d'ajustement. Ce paramètre dépend de l'adéquation du modèle et de la taille de l'appareil aux dimensions du visage : chaque individu présentant des caractéristiques morphologiques différentes, un modèle donné de masque ne peut donc pas convenir à tous (Han, 2000).

Parmi les divers facteurs pouvant avoir un impact sur la protection respiratoire, on distingue ainsi la fuite au visage, caractérisée par la mesure de l'ajustement du masque et dépendant à la fois de la pose de l'APR, de sa taille et des dimensions du visage du porteur, mais également le débit respiratoire (Mostofi *et al.*, 2010; Brochet, 2012). Les études sur ce dernier paramètre se focalisent principalement sur des demi-masques, dont le Facteur de Protection Assigné (FPA), caractérisant le niveau de protection attendu en situation de travail est de 10, ce qui est insuffisant pour répondre à toutes les situations d'exposition à des aérosols. Ce travail se concentre donc principalement sur des masques complets, dont le FPA conseillé est de 30 (INRS, 2019), et sur l'impact des facteurs mentionnés précédemment sur l'efficacité de protection fournie, ceci afin de proposer des recommandations d'usage adaptées à chaque salarié et à chaque situation de travail.

2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

2.1. Banc d'essai

Le protocole expérimental consiste à générer un aérosol polydispersé de NaCl à l'intérieur d'une enceinte de test contenant une tête factice sur laquelle est disposé l'APR à tester, et elle-même reliée à une machine à respirer (Figure 1). La tête factice utilisée dans cette étude, fournie par la société i-body, correspond à un

visage de taille moyenne, dont les dimensions sont spécifiées dans la norme ISO 16900-5 (2016) et basées sur les dimensions moyennes de la tête spécifiées dans la norme ISO 16976-2 (2021).

Les performances globales d'un appareil de protection respiratoire sont évaluées en calculant le rapport entre la concentration en particules C_0 à l'extérieur de la tête, dans un rayon de 30 cm autour de sa bouche (NF EN 1540, 2020), et la concentration en particules C_i à l'intérieur du masque, également au niveau de la bouche. Ces concentrations ont été mesurées à l'aide d'un granulomètre Nanoscan SMPS (TSI model 3910), permettant la mesure de diamètres de mobilité électrique de particules compris entre 10 nm et 400 nm. Une fois la concentration en aérosol stabilisée dans l'enceinte, la concentration ambiante est mesurée dans l'enceinte ($C_{0,ini}$), puis dans le masque (C_i), avant de contrôler une nouvelle fois la concentration ambiante dans la cabine de test ($C_{0,fin}$). La concentration en aérosol dans l'enceinte C_0 considérée est alors égale à la moyenne des concentrations $C_{0,ini}$ et $C_{0,fin}$.

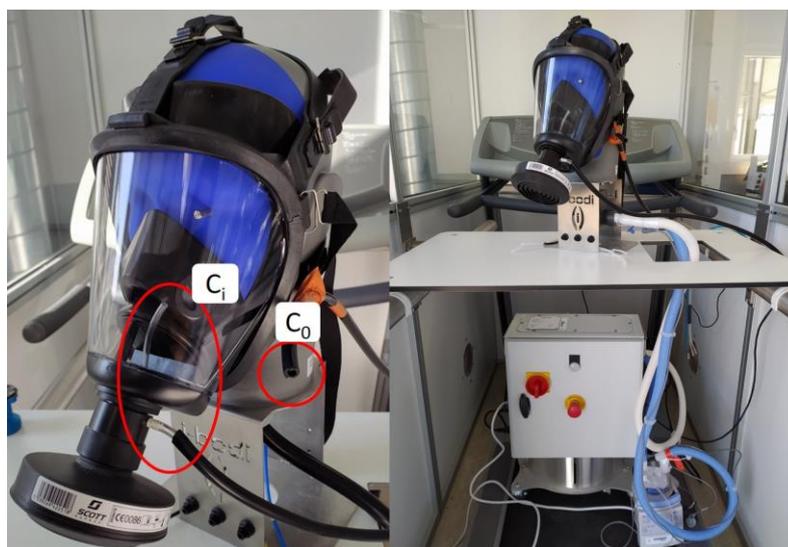


Figure 1. Tête factice et montage expérimental

2.2. Rythme respiratoire

La machine à respirer (DBM-01, i-body) permet de simuler des cycles respiratoires sinusoïdaux afin de représenter différentes activités humaines. Les rythmes respiratoires retenus pour cette étude sont présentés dans le Tableau 1. Les activités RR1 à RR4 représentent des activités répétées et rencontrées de manière courante lors d'une exposition professionnelle, et vont du repos à l'activité très intense telle que du travail à la hache, une montée d'escaliers ou une marche rapide (Horwat et Meyer, 1998; NF EN ISO 8996, 2021). Les deux derniers rythmes respiratoires correspondent à des activités de très haute intensité limitées dans le temps : l'activité RR5 représente la lutte contre les feux de broussailles ou l'exploitation minière, d'une durée maximale de 2h, tandis que l'activité RR6, limitée à quelques minutes, se rapporte à une opération de sauvetage ou la lutte contre l'incendie.

Tableau 1. Caractéristiques des cycles respiratoires sinusoïdaux simulés

Rythme respiratoire	Niveau d'activité de travail	Débit moyen (L.min ⁻¹)	Volume courant (L)	Fréquence respiratoire (cycles.min ⁻¹)	Débit de pointe (L.min ⁻¹)
RR1	Repos	13.5	1.5	9	41
RR2	Activité modérée	27.3	2.1	13	84
RR3	Activité intense	34.5	1.5	23	110
RR4	Activité très intense	44.1	2.1	21	141
RR5	Activité très très intense	64	2.0	32	204
RR6	Activité maximale	105	3.0	45	330

2.3. Appareil de protection respiratoire

Afin d'évaluer l'adéquation entre les dimensions du visage du porteur et la taille du masque, deux appareils de protection respiratoire ont été choisis : un masque OPTIFIT (Honeywell), noté APR1, disponible en trois tailles S, M et L, et un masque X-PLORE 6300 (Dräger), noté APR2 disponible en taille unique. Ces appareils ont été équipés d'un filtre anti-aérosols de type P3. L'efficacité de ce filtre étant de plus de 99.9% dans les conditions de la norme NF EN 143, 2021, la pénétration de l'aérosol dans la pièce faciale est principalement attribuée aux fuites au visage.

S'il est nécessaire de choisir un APR d'une taille adaptée aux dimensions du visage, il est également primordial que l'appareil soit correctement positionné. La caractérisation de la pose du masque a été réalisée à l'aide d'un appareil dédié, le Quantifit (OHD), qui permet une mesure de l'ajustement du masque par une méthode de pression négative (INRS, 2021). Une dépression est créée dans la pièce faciale, et la quantité d'air à évacuer pour maintenir la dépression est assimilée au débit de fuite. Un coefficient d'ajustement est alors calculé à partir du débit inhalé simulé, qui est une donnée constructeur, et du débit de fuite mesuré pendant le test. Pour chacun des APR choisis, 5 poses, présentées dans le Tableau 2, ont été étudiées. Il est à noter qu'un essai d'ajustement réalisé avec le Quantifit est considéré réussi pour un masque complet si la valeur obtenue est supérieure à 500.

Tableau 2. Coefficients d'ajustement et débits de fuite des poses testées

Coefficient d'ajustement	20	130	275	500	700
Débit de fuite (mL.min ⁻¹)	2600	400	200	100	75

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Effet de la taille et de la concentration des particules

Dans un premier temps, l'effet de la taille des particules et de la concentration de l'aérosol dans l'atmosphère sur le niveau de protection (C_0/C_i) a été étudié. Pour une pose donnée, la concentration ambiante en aérosol influe de manière négligeable sur le niveau de protection obtenu, mais plutôt sur l'incertitude de la mesure : en effet, le nombre de particules dans la pièce faciale diminue lorsque la concentration ambiante est faible, et peut atteindre la limite inférieure de détection de l'appareil. Les essais présentés ont été réalisés avec une concentration totale en aérosol dans l'enceinte comprise entre 2.10^4 et 6.10^4 particules par cm³.

De manière générale, l'efficacité de filtration augmente lorsque la taille de particules diminue, ce qui est dû à la prédominance du mécanisme de diffusion brownienne lors de la filtration d'aérosols. Dans cette étude, cet effet est assez peu prononcé et les niveaux de protection obtenus sont équivalents pour les différents diamètres de mobilité électrique mesurés. Les résultats suivants seront donc représentés à 115 nm, ce qui correspond à la taille de particules la plus pénétrante (Most Penetrating Particle Size) pour des fibres non chargées, afin de se placer dans les conditions les plus conservatives.

3.2. Effet du rythme respiratoire

Le niveau de protection (C_0/C_i) est représenté en Figure 2 en fonction des cycles respiratoires définis dans le Tableau 1 pour chaque APR, pour un coefficient d'ajustement de 500 et un diamètre de particules de 115 nm. Il apparaît que, lors du port de l'APR1 en taille L, le niveau de protection diminue de 30000 au repos à 70 pour une activité maximale, démontrant une augmentation du débit de fuite avec l'augmentation du débit respiratoire pour cette taille de masque. Il convient donc, pour les dimensions faciales considérées, de privilégier les tailles S et M lors du choix de l'APR. Ce résultat est cohérent avec l'étude de Zhuang *et al.* (2008) qui conseillait, pour cette catégorie de dimensions de visage, le port d'un APR de taille M.

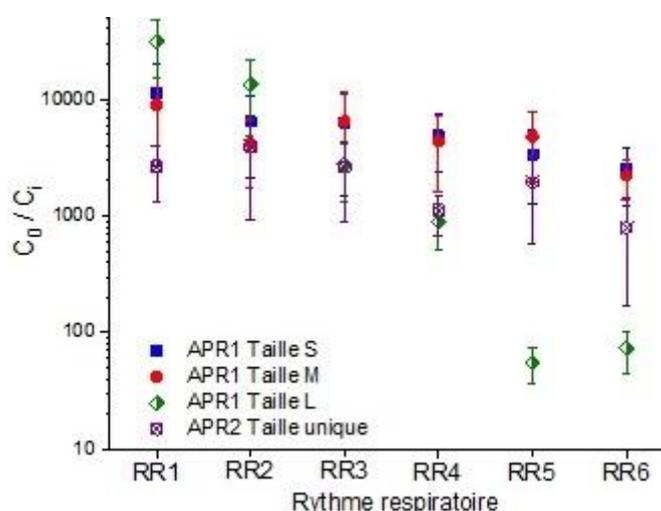


Figure 2. Evolution du niveau de protection en fonction du rythme respiratoire pour les différents APR étudiés ($d_p = 115$ nm, coefficient d'ajustement = 500) pour les dimensions faciales considérées

3.3. Effet du coefficient d'ajustement

Les résultats présentés dans la Figure 3, obtenus pour le rythme respiratoire RR4 correspondant à une activité très intense, montrent que le niveau de protection augmente clairement avec le coefficient d'ajustement. Pour un coefficient d'ajustement de 500, qui correspond à un essai réussi avec le Quantifit, un niveau de protection de plus de 4000 est calculé pour les tailles S et M de l'APR1, tandis que la taille L du même APR et l'APR2 en taille unique fournissent des niveaux de protection plus faibles, atteignant à peine une valeur de 1000. Il s'agirait donc, pour la taille de visage considérée, d'opter pour le port de l'APR1 en taille S ou M.

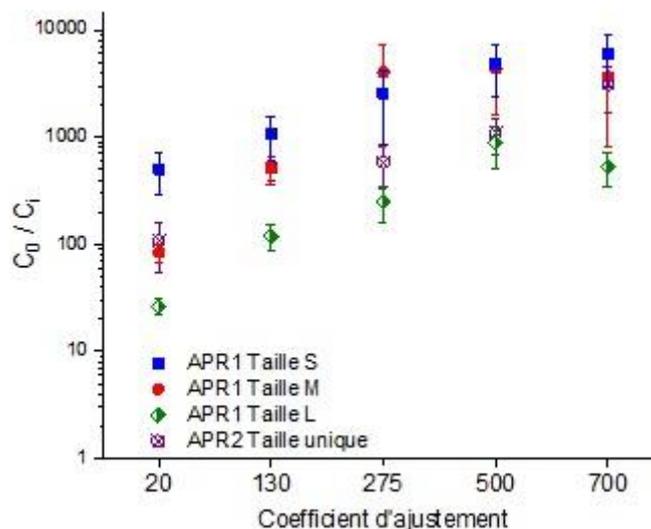


Figure 3. Evolution du niveau de protection en fonction du coefficient d'ajustement pour les différents APR choisis ($d_p = 115$ nm, rythme respiratoire RR4) pour les dimensions faciales considérées

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le niveau de protection fourni par deux masques complets, l'un disponible en trois tailles, l'autre disponible en taille unique, a été évalué en fonction du coefficient d'ajustement et du rythme respiratoire du porteur. La nécessité de choisir un modèle et une taille d'appareil de protection respiratoire adaptés aux caractéristiques morphologiques du salarié, notamment pour des activités particulièrement intenses, a été mise en évidence. Il s'agirait ensuite d'appliquer cette méthode aux autres têtes factices mentionnées dans la norme ISO 16900-5 (2016) pour intégrer le paramètre des dimensions faciales aux recommandations concernant le choix de l'appareil de protection respiratoire adaptées aux caractéristiques du salarié ainsi qu'à sa situation de travail.

Brochot, C. (2012) Filtration des nanoparticules - Application aux appareils de protection respiratoire, Thèse de l'Université de Lorraine.

Han, D.H. (2000) Fit factors for quarter masks and facial size categories, *Annals of Occupational Hygiene* 44(3), 227–234.

Horwat, F. et Meyer, J.P. (1998) Débit ventilatoire de travail. Elaboration et validation de méthodes indirectes d'évaluation au moyen de la fréquence cardiaque et de l'observation de l'activité, *Documents pour le médecin du travail* 76, 343–350.

INRS (2019) Les appareils de protection respiratoire - Choix et utilisation, INRS, ED 6106.

INRS (2021) Protection respiratoire - Réaliser des essais d'ajustement, INRS, ED 6273.

ISO 16900-5 (2016) Appareils de protection respiratoire - Méthodes d'essai et équipement d'essai - Partie 5: Machine respiratoire, simulateur métabolique, têtes factices et torsos APR, outils et outils de vérification.

ISO 16976-2 (2021) Appareils de protection respiratoire - Facteurs humains - Partie 2 : Anthropométrie.

Mostofi, R., Wang, B., Haghghat, F., Bahloul, A. and Jaime, L. (2010) Performance of Mechanical Filters and Respirators for Capturing Nanoparticles —Limitations and Future Direction, *Industrial Health* 48(3), 296–304.

NF EN 136 (1998) Appareils de protection respiratoire - Masques complets. Exigences, essais, marquage.

NF EN 140 (1998) Appareils de protection respiratoire - Demi-masques et quarts de masques. Exigences, essais, marquage.

NF EN 143 (2021) Appareils de protection respiratoire - Filtres à particules - Exigences, essais, marquage.

NF EN 1540 (2020) Exposition des lieux de travail - Terminologie.

NF EN ISO 8996 (2021) Ergonomie de l'environnement thermique - Détermination du métabolisme énergétique.

Zhuang, Z., Groce, D., Ahlers, H.W., Iskander, W., Landsittel, D., Guffey, S., Benson, S., Viscusi, D. and Shaffer, R.E. (2008) Correlation Between Respirator Fit and Respirator Fit Test Panel Cells by Respirator Size, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 5(10), 617–628.