

IDENTIFICATION DES EXERCICES DEGRADANT L'AJUSTEMENT DES APPAREILS DE PROTECTION RESPIRATOIRE LORS DES ESSAIS D'AJUSTEMENT

A. Santandrea*¹, S. Pacault¹ et S. Chazelet¹

¹ Laboratoire 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 : audrey.santandrea@inrs.fr

TITLE

Identification of fit-degrading exercises for respiratory protective devices during fit testing

RESUME

L'essai d'ajustement est essentiel afin de vérifier l'adéquation entre la pièce faciale d'un appareil de protection respiratoire et le visage du porteur. Cependant, certains exercices sont reconnus comme plus dégradants pour l'ajustement. Cette étude vise à identifier ces exercices pour les demi-masques et masques complets, afin d'aider l'opérateur d'essai d'ajustement à affiner son évaluation, notamment en cas de doute. Deux séquences d'exercices, inspirées des méthodes quantitatives existantes, ont été programmées sur une tête factice pour analyser leur impact sur l'ajustement de différents modèles de masques. Les résultats montrent que l'étape de retrait puis de réajustement du masque a un impact significatif sur l'ajustement des demi-masques. Cet exercice apparaît ainsi comme un indicateur de la facilité d'ajustement du masque, et peut être facilement ajouté en fin d'essai en cas de doute sur l'obtention d'un ajustement correct.

ABSTRACT

Fit testing is essential to verify the adequacy between the facepiece of a respiratory protective device and the face of the wearer. However, some exercises are known to be more detrimental to the fit. This study aims to identify these exercises for half masks and full-face masks, in order to help the fit test operator refine the evaluation, particularly in case of doubt. Two sequences of exercises, inspired by existing quantitative methods, were programmed on a dummy head to analyze their impact on the fit of different respirators models. The results show that the mask removal and re-donning step has a significant impact on the fit of half masks. This exercise therefore appears to be an indicator of the ease of achieving a proper fit, and can be easily added at the end of the test in cases of doubt about whether a correct fit can be obtained.

MOTS-CLES : protection respiratoire, ajustement, masques, mouvements / **KEYWORDS**: respiratory protection, adjustment, respirators, movements

1. INTRODUCTION

Lors d'une situation exposante à des polluants chimiques, notamment sous forme de particules, il arrive que les mesures d'élimination ou de réduction des risques soient insuffisantes ou impossibles à mettre en place. Dans ce cas, l'utilisation d'un appareil de protection respiratoire (APR) s'avère nécessaire. L'INRS recommande alors que l'entreprise utilisatrice des APR mette en place un programme de protection respiratoire (INRS, 2024) afin de s'assurer que l'appareil est adapté au polluant, à la situation de travail ainsi qu'au porteur. Le programme de protection respiratoire intègre également, de manière non exhaustive, l'information et la formation des utilisateurs et l'entretien, la maintenance et le stockage des APR.

Afin de réduire au maximum les fuites au visage, la pièce faciale de l'APR doit être correctement ajustée au visage de l'opérateur. Un modèle donné de masque ne pouvant convenir à toutes les morphologies de visage, l'INRS recommande la réalisation d'un essai d'ajustement dans le but de vérifier l'adéquation entre le visage et la pièce faciale. Deux méthodes quantitatives pouvant être mises en œuvre sur le terrain sont reconnues par la norme (NF ISO 16975-3, 2018) et le guide INRS (ED 6273, 2021) :

- La méthode par comptage de particules (« Condensation Nuclei Counter », CNC) : un compteur de particules mesure alternativement la concentration en particules présentes naturellement dans l'air ambiant à l'extérieur et à l'intérieur de la pièce faciale, pendant que le porteur réalise une série d'exercices simples. Le coefficient d'ajustement (CA) est calculé à partir du ratio des concentrations extérieure sur intérieure de l'aérosol mesuré.
- La méthode par pression négative contrôlée (« Controlled Negative Pressure », CNP) : après avoir réalisé un exercice d'une série définie, le porteur retient sa respiration tandis qu'un appareil de mesure maintient une pression négative dans la pièce faciale. Le débit de fuite vers l'intérieur de la pièce faciale est assimilé à la quantité d'air à évacuer pour maintenir la dépression. Le coefficient

d'ajustement est calculé à partir du ratio du débit inhalé moyen (dépendant de la pression négative imposée) sur le débit de fuite.

Les exercices à réaliser dans chacune des deux méthodes sont présentés en Tableau 1. Dans chacune des deux méthodes, un coefficient d'ajustement peut être calculé pour chacun des exercices réalisés, et comparé à une valeur seuil spécifique au type de masque et à la méthode utilisée. Ainsi, lors d'un essai par comptage de particules, l'exercice est réussi si le coefficient d'ajustement associé dépasse la valeur seuil de 100 pour les demi-masques et 2000 pour les masques complets, tandis que les valeurs à dépasser sont respectivement de 100 et 500 par une méthode à pression négative contrôlée. Selon le guide ED 6273 de l'INRS, l'essai d'ajustement est réussi si le coefficient d'ajustement de tous les exercices est supérieur à la valeur seuil.

Tableau 1 Description des exercices des méthodes d'essai d'ajustement quantitatives

Comptage de particules (CNC)	Pression négative contrôlée (CNP)
Respiration normale	Respiration normale
Respiration profonde	Se pencher en avant
Mouvements de tête latéraux	Mouvements du visage avec parole
Mouvements de tête verticaux	Retrait puis réajustement n°1
Parler	Retrait puis réajustement n°2
Se pencher en avant	
Respiration normale	
Step niveau II (montées et descentes d'une marche)	

Bien que les deux méthodes soient équivalentes, des données de la littérature suggèrent que certains exercices, tels que la parole, conduisent plus fréquemment à une apparition de fuites au visage lors de l'utilisation de demi-masques (Zhuang et al., 2004). Sietsema & Brosseau (2018) ont également observé que trois exercices (position immobile en respirant normalement, mouvements verticaux de la tête, et la parole) sont les plus représentatifs d'une situation de travail simulée, dans une étude menée sur un seul modèle de N95 et un échantillon de sujets restreint. Une méthode « rapide » d'essai d'ajustement par comptage de particules a notamment été proposée par TSI, et consiste à réduire la durée totale de l'essai en réalisant uniquement des exercices spécifiques identifiés comme les plus pénalisants pour l'ajustement. Cette méthode est désormais jugée équivalente à la méthode initiale non modifiée pour vérifier l'ajustement des demi-masques (Richardson et al., 2014).

Dans la continuité de ces travaux, l'INRS cherche à affiner ses recommandations afin d'améliorer la protection des salariés. Ainsi, alors que la norme stipule qu'il suffit que la moyenne harmonique des coefficients d'ajustement déterminés pour chaque exercice dépasse la valeur seuil pour considérer qu'un essai est réussi, l'INRS recommande que le seuil doive être dépassé pour chacun des exercices. D'autre part, un essai d'ajustement peut être répété jusqu'à trois fois avant de considérer que le masque n'est pas adapté au porteur. Un essai réussi après le premier ajustement est donc considéré équivalent à un essai réussi après trois ajustements, alors que ces situations peuvent révéler des niveaux de compatibilité différents entre la pièce faciale et le visage. Sans nécessairement modifier le protocole d'essai, il apparaît alors nécessaire de conseiller l'opérateur d'essai d'ajustement dans son interprétation des résultats et ses échanges avec le porteur du masque. Ainsi, refaire un exercice ou l'adapter légèrement pourrait, dans certains cas, aider à confirmer une suspicion de fuite et affiner le choix d'une pièce faciale adaptée.

Dans cette perspective, il est nécessaire d'identifier si certains exercices sont réellement plus pénalisant que d'autres pour l'ajustement, à la fois pour les demi-masques et les masques complets. Des essais d'ajustement ont donc été conduits en laboratoire sur une tête factice, programmable en termes de mouvements et de parole. Deux séquences d'exercices inspirées des méthodes d'essai d'ajustement ont été programmées, et le coefficient d'ajustement a été déterminé à l'aide d'un même appareil afin d'isoler l'effet des exercices. Huit modèles de masques, dont cinq disponibles en trois tailles, ont été testés, incluant des pièces faciales filtrantes (FFP), des demi-masques élastomères et des masques complets. L'objectif n'est alors pas de comparer les APR entre eux, ni de comparer les séquences entre elles, mais d'identifier les exercices susceptibles d'influencer significativement l'ajustement.

2. MOYENS D'ESSAIS

2.1. Description des APR

Le Tableau 2 présente les types, le nombre et les tailles des APR étudiés, ainsi que les seuils de réussite associés pour une mesure par comptage de particules.

Tableau 2 Type, nombre et taille des APR étudiés

Type de masque	Certification	Nombre de modèles	Tailles disponibles	Seuil de réussite
Demi-masque élastomère	EN 140	2	S, M et L	100
Pièce faciale filtrante (FFP3)	EN 149	2	Unique	100
Masque complet	EN 136	3	S, M et L	2000
		1	Unique	2000

2.2. Matériel utilisé

Les essais ont été réalisés à l'aide d'une tête factice motorisée, développée par la société i-Bodi. La pièce faciale à tester est positionnée sur la tête factice, elle-même reliée à une machine à respirer (i-Bodi, DBM01) permettant de simuler des cycles respiratoires sinusoïdaux. Pour cette étude, un débit respiratoire modéré (débit moyen = 27 L.min⁻¹ ; débit de pointe = 84 L.min⁻¹) a été utilisé.

Les mouvements de la tête factice ont été programmés manuellement, en fonction des exercices étudiés. L'évaluation du coefficient d'ajustement a été réalisée à l'aide d'un appareil Portacount (TSI), en appliquant les durées d'exercices du protocole de l'OSHA. Le coefficient d'ajustement associé à chaque exercice est alors calculé comme le rapport entre la concentration à l'extérieur de la pièce faciale sur celle à l'intérieur.

2.3. Exercices des méthodes d'essai d'ajustement

Contrairement aux essais impliquant des sujets humains, l'utilisation d'une tête factice motorisée permet une reproductibilité parfaite des mouvements d'un essai à l'autre, ce qui permet d'isoler plus finement l'effet de chaque exercice sur le coefficient d'ajustement mesuré. Toutefois, cette approche présente également des contraintes liées à la mobilité limitée de la tête. En particulier, certaines postures, comme la flexion du buste présente dans les deux séquences d'exercices d'essai d'ajustement, ne peuvent être reproduites fidèlement. Cet exercice a donc été simplifié en une inclinaison de la tête vers le bas dans l'une des séquences testées. D'autre part, l'exercice consistant à réaliser des mouvements tout en parlant a été intégré aux deux séquences, afin d'évaluer l'effet de la réalisation combinée des mouvements et de la parole sur l'ajustement.

Les exercices n'ont pas été évalués de manière isolée, mais intégrés dans des séquences complètes, conformément à la logique des essais d'ajustement où les exercices sont réalisés successivement. Les deux séquences testées (Tableau 3) ont été inspirées des méthodes d'essai d'ajustement, et modifiées pour inclure les mouvements programmables identifiés comme générateurs de fuite dans la littérature (mouvements de tête, parole) et n'incluant que des mouvements du visage et de la tête, en excluant les postures. Chaque exercice dure une minute.

Tableau 3. Exercices programmés sur la tête factice pour la réalisation des deux séquences testées

Séquence n°1	Séquence n°2
Immobile	Immobile
Mouvements verticaux répétés	Penche la tête vers le bas
Mouvements latéraux répétés	Mouvements du visage avec parole
Récitation de l'alphabet	Dépose / Repose n°1
Immobile	Dépose / Repose n°2
Mouvements du visage avec parole	

2.4. Analyse des données

Pour chaque modèle et taille de masque, trois essais ont été réalisés selon chacune des deux séquences, pour un total de six essais par masque. Le premier exercice étant identique dans les deux séquences (position immobile avec respiration normale) et le coefficient d'ajustement étant mesuré avec le même appareil, seule la pose initiale du masque peut générer une différence entre les coefficients d'ajustement associés à ce premier exercice. Pour chaque masque, le nombre d'essais réalisés a été adapté de manière à obtenir autant de réussites que d'échecs sur le premier exercice, afin de limiter l'influence de la pose initiale sur les résultats. Un total de 572 exercices a été réalisé, dont 312 dans la séquence n°1 et 260 dans la séquence n°2.

L'analyse des résultats a été réalisée en regroupant les pièces faciales par type : masques complets et demi-masques (incluant les demi-masques élastomères et les FFP). Pour chaque type de masque, le coefficient d'ajustement de chaque exercice est comparé à la valeur seuil associée. L'exercice est considéré réussi si le coefficient d'ajustement est supérieur au seuil, et échoué dans le cas contraire. L'exercice initial (position immobile avec respiration normale) a été utilisé comme référence pour chaque méthode. Des tests du χ^2 avec

correction de Yates ont été effectués pour comparer le nombre de réussites de chaque exercice à la celui de la référence et évaluer si leur effet sur la dégradation de l'ajustement est statistiquement significatif.

3. RESULTATS

Le Tableau 4 présente le nombre de réussites et d'échecs associés à chaque exercice pour les deux types d'APR testés. De manière générale, pour les masques complets, la plupart des exercices conduisent à des nombres de réussites proches de ceux observés en position immobile initiale. Aucun exercice ne présente ainsi d'effet statistiquement significatif sur l'ajustement. A l'inverse, pour les demi-masques, certains exercices se révèlent plus dégradants pour l'ajustement. Les mouvements du visage combinés avec la parole ont notamment un nombre de réussites légèrement plus faible. Mais le seul exercice présentant un effet significatif sur l'ajustement des demi-masques est l'exercice de dépose/repose n°1 de la séquence n°2 ($p = 0,026$).

Tableau 4 Nombre de réussites/ échecs pour chaque exercice pour les deux types de masques

Séquence	Exercice	Masques complets	Demi-masques
N°1	Respiration seule	20 / 8	21 / 3
	Mouvements verticaux	20 / 8	21 / 3
	Mouvements latéraux	20 / 8	21 / 3
	Parole	21 / 7	20 / 4
	Respiration seule	20 / 8	20 / 4
	Mouvements du visage avec parole	20 / 8	17 / 7
N°2	Respiration seule	20 / 8	21 / 3
	Penche la tête vers le bas	22 / 6	22 / 2
	Mouvements du visage avec parole	23 / 5	19 / 5
	Dépose / Repose n°1	19 / 9	13 / 11
	Dépose / Repose n°2	16 / 12	18 / 6

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les essais réalisés ont démontré que les mouvements testés ont le même impact sur la modification de l'ajustement. Contrairement à ce qui pouvait être attendu, l'exercice combinant mouvements de tête et parole n'a pas montré d'effet significatif sur l'ajustement. L'exercice ayant le nombre de réussites le plus faible par rapport à l'exercice initial est la première étape de dépose/repose du masque, son influence étant statistiquement significative pour les demi-masques.

Bien que les essais de cette étude aient évalué la capacité de l'opérateur à ajuster une pièce faciale sur une tête factice, et non celle du porteur à positionner correctement son APR, cette observation est cohérente avec la littérature. En effet, des remises en place répétées peuvent conduire à une variabilité importante dans la mesure du coefficient d'ajustement (Bergman et al., 2012), et l'étape de dépose/repose a été intégrée au protocole REDON de la méthode CNP afin de prendre en compte ce critère (OSHA, 2004). L'exercice de dépose/repose peut ainsi être considéré comme un indicateur de la facilité d'ajustement du masque. En cas de doute sur la facilité à obtenir un ajustement correct, il pourrait être intéressant de retirer et réajuster la pièce faciale en fin d'essai.

Bergman, M. S., Viscusi, D. J., Zhuang, Z., Palmiero, A. J., Powell, J. B., & Shaffer, R. E. (2012). Impact of multiple consecutive donnings on filtering facepiece respirator fit. *American Journal of Infection Control*, 40(4), Article 4. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.05.003>

ED 6273. (2021). *Protection respiratoire—Réaliser des essais d'ajustement*. INRS.

INRS. (2024). *Le programme de protection respiratoire* (Fiche Pratique de Sécurité No. ED 156).

NF ISO 16975-3. (2018). *Appareils de protection respiratoire—Choix, utilisation et entretien—Partie 3: Modes opératoires d'essais d'ajustement*. Association Française de Normalisation (AFNOR).

OSHA. (2004). *Controlled Negative Pressure REDON Fit Testing Protocol* (Proposed Rule No. OSHA 1910.134; Issue OSHA 1910.134). Occupational Safety and Health Administration.

Richardson, A. W., Hofacre, K. C., Weed, J., Holm, R., & Remiarz, R. (2014). Evaluation of a Faster Fit Testing Method for Elastomeric Half-Mask Respirators Based on the TSI PortaCount. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 31(1), 9–22.

Sietsema, M., & Brosseau, L. M. (2018). Are quantitative fit factors predictive of respirator fit during simulated healthcare activities? *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(12), Article 12. <https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1515490>

Zhuang, Z., Coffey, C. C., & Lawrence, R. B. (2004). The Effect of Ambient Aerosol Concentration and Exercise on PortaCount Quantitative Fit Factors. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 21.