

→ J.P. Meyer, Service
Physiologie Environnementale,
M. Héry, G. Hubert,
D. François, G. Hecht, M. Villa,
Service Evaluation et prévention du
risque chimique,
Centre de recherche de l'INRS,
Nancy

Demi-masques à pression négative

Influence des conditions de travail sur leur confort et leur efficacité

Traduction de l'article « *Field study of subjective assessment of negative pressure half-masks. Influence of the work conditions on comfort and efficiency* », paru dans la revue *Applied Ergonomics*, 1997, 28, 5/6, pp. 331-338, avec l'autorisation d'Elsevier Science

NEGATIVE PRESSURE HALF-MASKS

*INFLUENCE OF WORK
CONDITIONS ON COMFORT AND
EFFICIENCY*

Translation of the article published in *Applied Ergonomics*, 1997, vol. 28, 5/6, pp. 331-338, with permission from Elsevier Science

The aim of this study was to assess the effects of work conditions on respiratory protective device (RPD) acceptability and efficiency. Subjective evaluation of comfort, protection, respiratory and visual constraint and acceptable wearing duration of 6 RPDs against dust was obtained from 30 workers during actual work. Metabolic rate was evaluated for each worker and dry and wet air temperatures were measured in the work area. RPD objective protection factor was measured for each of the 180 test periods. In the conditions of this study the acceptable duration of wear is about 1 hour. This duration and also comfort parameters are reduced when air temperature increases. Younger workers and/or smokers are less sensitive to mask discomfort. RPD objective protection factors tend to decrease in warmer conditions and when metabolic rate is low. The test results also show the poor capacity of standardised leakage tests to assess the objective respiratory protection of workers in the field. Some possible explanations are discussed.

● respiratory protection ● half-mask
● comfort ● efficiency

Cette étude avait pour objectif de quantifier les effets des conditions de travail sur l'acceptabilité et l'efficacité d'appareils de protection respiratoire (APR). Les évaluations subjectives du confort, de l'efficacité, des gênes respiratoires et visuelles et de l'estimation de la durée acceptable de port de 6 masques antipoussières ont été réalisées par 30 salariés en situation réelle de travail. La dépense énergétique de chaque salarié a été évaluée et les températures d'air sec et humide ont été mesurées dans l'environnement direct de travail. L'efficacité des 6 APR a été mesurée au cours des 180 périodes de test.

Dans les conditions de cette étude, la durée acceptable de port d'un masque est de 1 heure en moyenne. La durée de port et le confort des APR sont réduits lorsque la température ambiante s'élève. Par ailleurs, les salariés les plus jeunes et/ou ceux qui fument sont moins sensibles à l'inconfort des masques. L'efficacité des APR est diminuée dans les ambiances les plus chaudes et pour les niveaux de dépense énergétique les plus faibles. Enfin, les résultats montrent que les tests de fuite normalisés ne permettent pas de prévoir l'efficacité des APR en situation réelle de travail. Quelques hypothèses qui pourraient expliquer ce fait sont discutées.

● protection respiratoire ● demi-masque ● confort ● efficacité

L'exposition aux ambiances empoussiérées reste une réalité pour de nombreux salariés [1]. Dans les situations où ces poussières présentent un risque toxique, le port d'appareils de protection respiratoire (APR) remplace encore trop souvent des techniques collectives de protection. De plus, lorsqu'un APR doit être porté, dans le meilleur des cas son choix est fait sur la base des caractéristiques techniques du masque. Les salariés sont rarement consultés et le confort des appareils n'est jamais pris en compte. Pourtant, une directive européenne indique que le confort peut être un critère de choix de l'APR [2]. Enfin, les modalités et la durée du port de l'APR devraient entraîner des organisations du travail adaptées aux conditions environnementales et à l'appareil retenu et discutées avec les salariés [2 à 5].

Cependant, la connaissance très partielle des aspects liés au confort des masques explique sans doute qu'il ne soit pas pris en compte dans le choix des APR. Les

critères de choix restent principalement liés aux astreintes respiratoires et psychomotrices lors du port d'un APR. En effet, de nombreuses études de laboratoire ont analysé les astreintes induites par l'augmentation des résistances inspiratoires qui entraînent une augmentation du travail respiratoire [6 à 9] et une réduction des capacités d'effort [10 à 14]. Le port d'un APR peut également aggraver des troubles psychologiques mineurs comme l'anxiété ou la claustrophobie [10, 16] et entraîner des altérations motrices et cognitives [14, 15, 17].

Toutefois, les résultats de ces études montrent que les répercussions physiologiques objectives sont négligeables pour des activités physiques légères ou modérées. Pour ces niveaux d'activité physique, les plus courants en situation de travail, de rares altérations des capacités psychomotrices peuvent être observées.

Les études sur le confort des APR sont rares. Elles ont surtout analysé les effets de la température de l'air sur le confort de

l'appareil [13 à 15]. En situation réelle de travail très peu d'études ont été menées sur la perception par les salariés du confort des APR [6, 18].

L'objectif de la présente étude était double. D'une part recueillir l'évaluation par des salariés en situation réelle de travail de différents paramètres du confort de demi-masques à pression négative et, d'autre part, de quantifier l'influence sur le confort et l'efficacité des APR de l'intensité du travail physique et de la contrainte thermique.

1. Méthodes

Les évaluations subjectives ont été recueillies au cours d'une étude sur l'efficacité de 6 APR en situation réelle de travail. Les résultats des mesures objectives de fuite sont présentés par ailleurs [19].

1.1. Caractéristiques des salariés

Trente salariés, 25 hommes et 5 femmes de quatre entreprises différentes, ont été volontaires pour participer à l'étude après que ses moyens et ses objectifs leur aient été exposés. Un questionnaire rapide était réalisé auprès de chaque salarié avant le début des expériences pour connaître leur âge, leur activité sportive, leur consommation de tabac [cigarettes.jour⁻¹] et mesurer trois dimensions du visage.

L'âge moyen des salariés est de 35,1 années, avec un écart-type (e-t) de 9,1 années. Les salariés ont été classés en trois catégories selon leur consommation de tabac. Seize d'entre eux sont non-fumeurs, six fument moins de 15 cigarettes par jour et huit, plus de 15 cigarettes par jour. Les mensurations du visage définies dans la norme NF EN 140 [20] selon les termes profondeur du visage (distance entre le lobe de l'oreille et la pointe du nez) largeur du visage (distance entre les pommettes) et largeur de la bouche (distance entre les commissures des lèvres) ont été relevées. Les moyennes et les écarts-type de ces trois grandeurs sont respectivement de 128 (e-t = 8), 122 (e-t = 16) et 53 (e-t = 5) mm. Pour l'ensemble de ces caractéristiques, il n'y a pas de différence entre les deux sexes. Par contre les tailles de visage sont significativement différentes dans les 4 entreprises. Tous les salariés étaient habitués à porter un masque durant leur travail. Ils ignoraient les performances objectives des masques testés.

TABLEAU I

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES SIX DEMI-MASQUES TESTÉS

Masques n ^{os}	Catégorie	Poids (g)	FI (%)	Ft (%)	Remarques
1	PF	180	0,15	7,8	2 cartouches filtrantes
2	PF	220	4,7	8,6	
3	PF	220	2,5	11,8	masque papier épais
4	FF	32,5	1,2	9,0	
5	PF	218	0,25	7,5	masque papier fin
6	FF	8,5	2,0	10,9	

Catégories : FF : pièces faciales filtrantes ; PF : demi-masques avec filtre.

FI : moyenne arithmétique de la fuite mesurée en laboratoire

Ft : moyenne géométrique de la fuite mesurée en situation réelle de travail.

1.2. Demi-masques testés

Six APR ont été testés. Quatre demi-masques avec filtre (PF) et deux pièces faciales filtrantes (FF) appelés communément « masque papier ». Les six APR avaient été testés au laboratoire au cours d'une campagne d'essais conformément aux prescriptions de la norme NF S 76-022 [21]. Le *tableau I* présente les principales caractéristiques de ces masques, ainsi que les fuites moyennes mesurées au cours des tests normalisés [22] et en situation réelle de travail [19]. La distribution des valeurs de fuite mesurée au laboratoire (FI) est normale. Elle est log-normale pour les fuites mesurées en situation de travail (Ft). La valeur moyenne des fuites est une moyenne arithmétique pour FI et géométrique pour Ft.

1.3. Grandeurs mesurées

Les salariés ont participé à l'étude durant trois jours de travail consécutifs et ont porté chaque APR pendant une heure. Un salarié testait généralement 2 APR par journée, un le matin et un l'après-midi. Exceptionnellement, 3 masques ont été testés le même jour. Dans ce cas, une période d'une heure au moins séparait chaque test. L'ordre de passage des masques était tiré au sort. Au total, les résultats analysés ont été recueillis au cours de 180 séquences de travail d'une heure.

L'évaluation subjective du confort des APR était réalisée à l'aide d'échelles d'évaluation présentées aux salariés dans un livret. Cette présentation avait été choisie car après chaque réponse, le salarié passait à la question suivante sans référence

aux réponses précédentes. Les échelles et la façon d'y répondre étaient exposées à chaque salarié individuellement avant le début des expériences. Ces explications permettaient de présenter le livret à la fin de chaque séquence de port d'un APR sans faire de commentaire, afin que les réponses soient les plus spontanées possible. Les évaluations subjectives suivantes ont été réalisées sur 7 échelles d'adjectifs distinctes pour respectivement : le confort, la gêne visuelle, la gêne respiratoire, l'efficacité de la protection de l'APR, la facilité à mettre l'APR et à le garder. La septième échelle permettait de réaliser une évaluation globale de la qualité de l'APR. Elle était présentée aux salariés comme une évaluation dans laquelle ils devaient combiner les qualités de confort et de protection de l'APR. Les échelles d'évaluation utilisées sont présentées dans le chapitre 2 : « Résultats ».

Enfin, lorsque les salariés avaient coché toutes les questions du livret, ils répondaient oralement à la question : « Combien de temps pourriez-vous garder ce masque sans problème ? ». Une brève discussion permettait de relever des aspects non quantifiables de la gêne liée au port d'un APR. A la fin de la période de test, l'intérieur du masque était examiné afin d'estimer le degré d'humidité qui était quantifié selon 3 niveaux : sec, humide et mouillé.

Les températures sèche (t_a) et humide de l'air (t_h) [°C], étaient mesurées à deux reprises au poste de travail au cours de chaque test à l'aide d'un psychromètre (Ultrakust G1460).

L'intensité du travail des salariés était déterminée à l'aide d'une méthode d'observation de l'activité [23] basée sur la décomposition du travail en tâches élémentaires dont le coût énergétique est

connu. La somme des coûts énergétiques des tâches élémentaires permet de calculer la dépense énergétique totale [W].

1.4. Traitements statistiques

Les réponses subjectives des salariés étaient indiquées par une croix sur les échelles d'évaluation. La distance [mm] entre l'extrémité inférieure de l'échelle et la position notée par le salarié était la valeur numérisée et traitée de la réponse subjective. Les méthodes statistiques utilisées sont les moyennes arithmétiques et leurs écarts-types, et les moyennes géométriques pour les variables à distribution log-normale. Les interactions entre les différentes variables ont été mises en évidence par l'analyse de la variance à un ou plusieurs facteurs. Le test t de Student pour séries appariées a été utilisé pour tester la significativité des différences entre les résultats des différents APR. La régression simple ou multiple par la méthode des moindres carrés de Pearson a été utilisée pour quantifier les interactions entre les différentes variables. Le seuil de significativité retenu est de 5 % ($p < 0,05$).

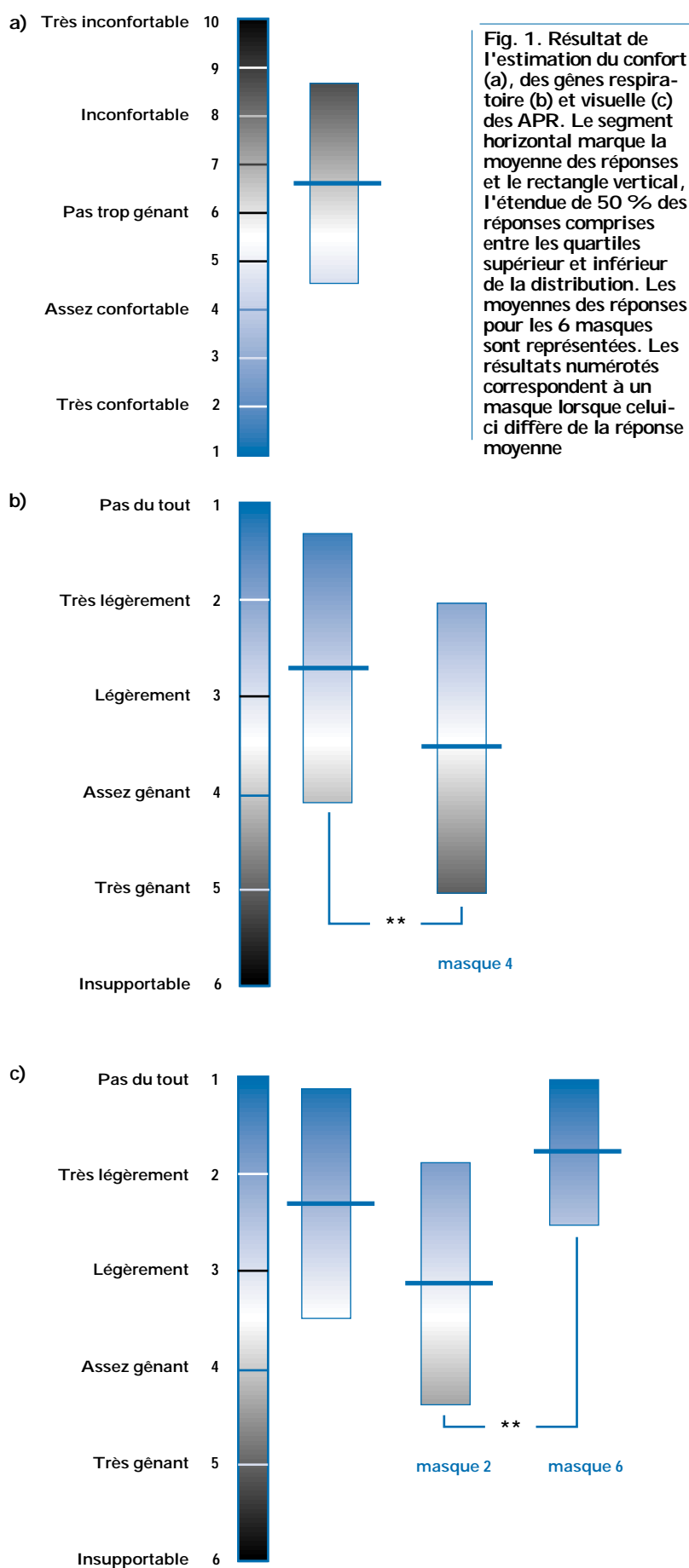
2. Résultats

2.1. Résultats subjectifs

Les réponses données par les salariés sur les différentes échelles d'évaluation sont présentées sous forme graphique. En regard de chaque échelle, la réponse moyenne est marquée par un rond. Le segment vertical marque l'étendue de mesure de la moitié des réponses entre les quartiles supérieur et inférieur des distributions. Les résultats moyens des 6 APR sont représentés à gauche. Les masques dont les résultats sont significativement différents de la moyenne sont présentés sous la même forme, mais numérotés, à côté du résultat moyen. Pour expliquer les résultats de certaines variables subjectives, les résultats subjectifs obtenus au cours des tests normalisés [24] seront utilisés.

2.1.1. Estimation du confort et des gênes respiratoires et visuelles

La figure 1 présente les résultats de l'évaluation du confort (fig. 1a) et des gênes respiratoire (fig. 1b) et visuelle (fig. 1c) induits par le port des APR.



Aucun APR ne se distingue des autres pour l'estimation du confort. Globalement, les masques sont jugés gênants, sans plus. Les salariés fumeurs trouvent les masques moins inconfortables que les non-fumeurs ($p < 0,01$).

La gêne visuelle est modérée. Elle est significativement plus importante dans l'entreprise 2 ($p < 0,05$) que dans les trois autres entreprises. En effet, sur les sept salariés de l'entreprise 2, six (cinq femmes et un homme) subissaient une astreinte visuelle légère, mais pratiquement continue, liée à des tâches de nettoyage et de contrôle de petites pièces ou à la maintenance d'un four.

Les PF, plus volumineux que les FF, engendrent une gêne visuelle significativement plus importante ($p < 0,001$). Les gênes visuelles induites par les masques n° 2 et 6 ne sont pas différentes du résultat moyen des six APR. Cependant, la gêne visuelle provoquée par le masque n° 2 est significativement plus importante que celle du masque n° 6 ($p < 0,01$). La conception du masque n° 2, qui dispose de 2 cartouches filtrantes alors que le masque n° 6 (FF) est l'APR testé le moins volumineux explique cette différence de jugement. La gêne visuelle moyenne de chaque masque est liée à l'amputation du champ visuel binoculaire mesurée au

laboratoire ($p < 0,01$) selon les recommandations de la norme [20].

Les APR entraînent une gêne respiratoire qui n'est pas liée aux résistances inspiratoires mesurées au cours des tests normalisés [20]. Le masque n° 4, FF à élément filtrant épais, induit une gêne respiratoire significativement plus importante que celle des autres APR ($p < 0,05$). La gêne respiratoire est plus importante chez les salariés les plus âgés. Cette différence n'est qu'une tendance ($p < 0,08$).

2.1.2. Efficacité perçue des APR

La *figure 2* présente l'estimation de l'efficacité de la protection contre les poussières apportée par le port des APR.

L'estimation de la protection des APR est surprenante car aucun masque ne se distingue des autres, alors que les résultats de fuite (FI) mesurés lors des tests normalisés (tableau I) font apparaître des différences significatives entre les APR. Cependant, ce résultat est cohérent avec les valeurs de fuite mesurées au cours de la présente étude, puisque celle-ci ne distingue pas les performances de fuite des différents APR [19]. Le jugement optimiste des capacités de protection des masques testés peut être rapporté au fait que les salariés estimaient que des masques proposés par un institut de sécurité ne pouvaient être bons !

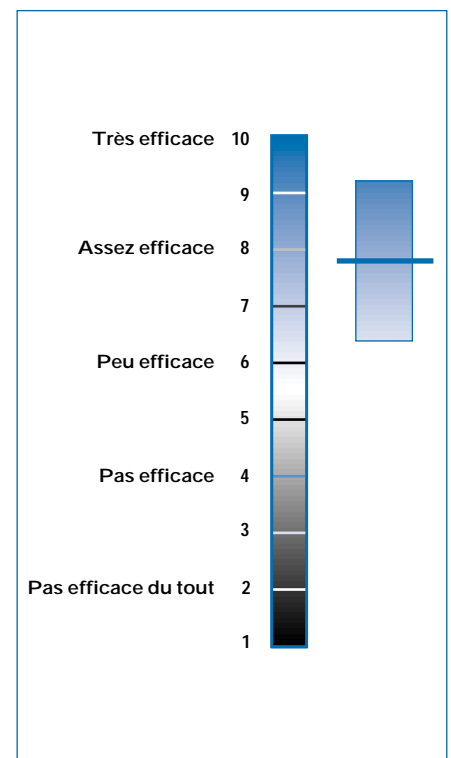


Fig. 2. Résultat de l'estimation de la protection apportée par les APR. Le mode de présentation est le même que dans la figure 1

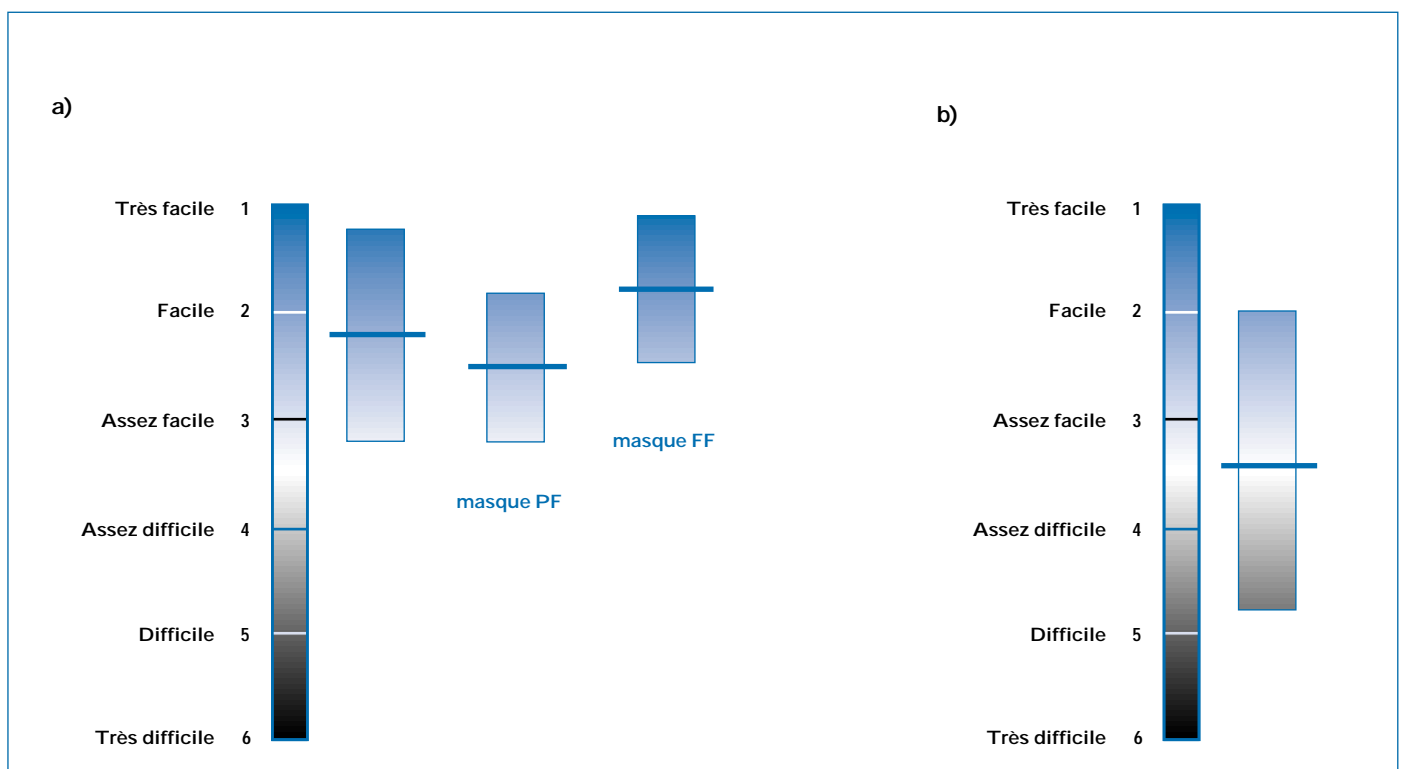
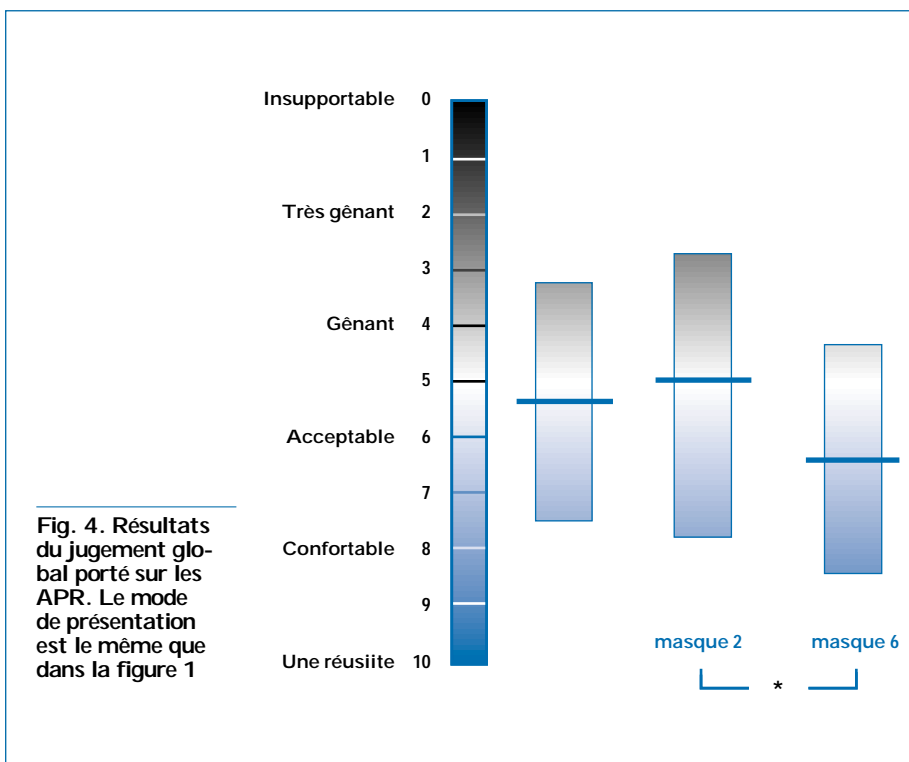


Fig. 3. Résultats de l'estimation de la difficulté de mettre (3a) et de garder (3b) l'APR. Le mode de présentation est le même que dans la figure 1



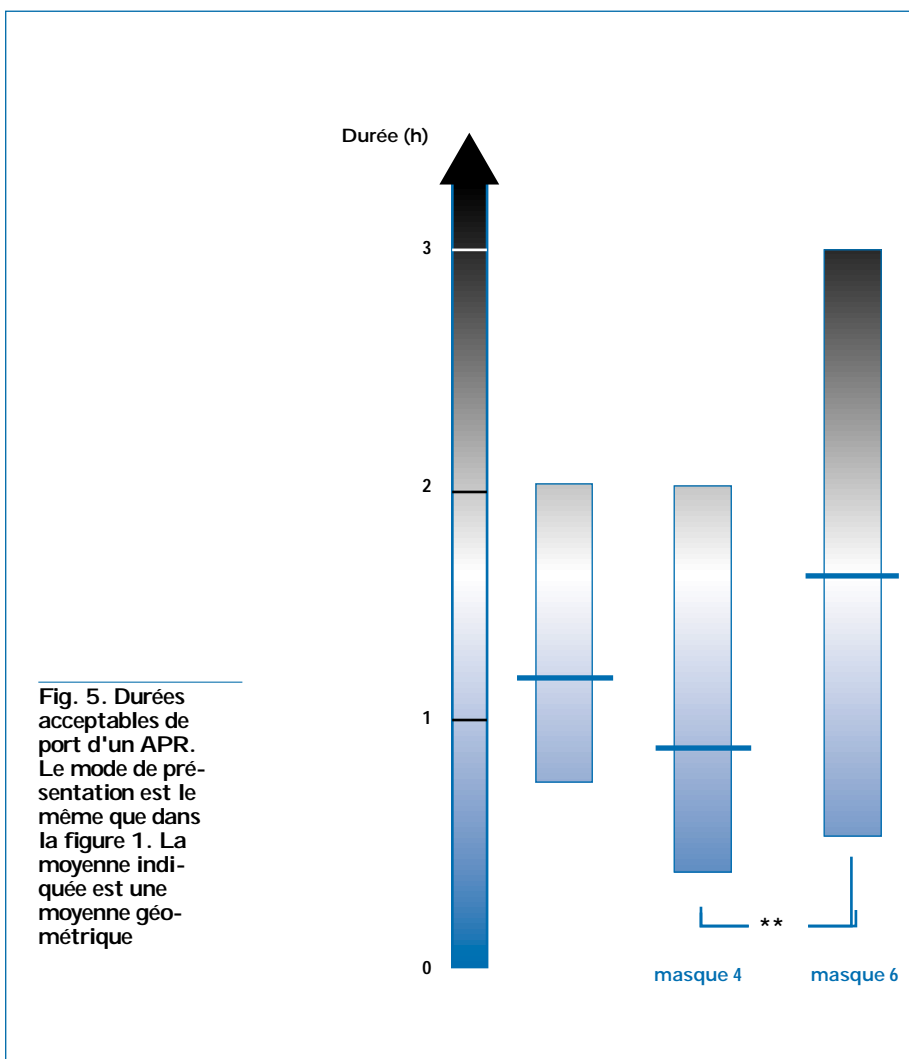
2.1.3. Estimation de la difficulté à mettre et à garder l'APR

La figure 3 présente le résultat de l'estimation de la difficulté à mettre l'APR (fig. 3a) et à le garder (fig. 3b).

Le résultat de la figure 3a montre que les PF sont plus difficiles à mettre en place que les FF ($p < 0,05$). Cependant, la réponse à cette question est biaisée car les masques ont été mis en place et adaptés au visage des salariés avec l'aide des expérimentateurs. L'intérêt de cette question sera repris en discussion.

2.1.4. Jugement global de l'APR

La figure 4 présente le résultat du jugement global des APR. Le masque n° 6 est jugé globalement meilleur que le masque n° 4 ($p < 0,05$). Les PF ne se distinguent pas les uns des autres. Le jugement global, qui est une combinaison du confort et de l'efficacité de l'APR, est plus dépendant du confort que de l'efficacité. En effet, le confort explique 32 % de la variance du jugement global, alors que l'efficacité n'explique que 12 % de celle-ci.



2.1.5. Durée possible de port d'un appareil

La figure 5 présente la durée de port « sans problème » (en heures). Cette variable suit une distribution log-normale. La moyenne géométrique de la durée de port au cours des 180 tests est de 72 minutes. Celle du masque n° 4 (54 min) est significativement ($p < 0,01$) inférieure à celle du masque n° 6 (96 min). La durée de port est significativement ($p < 0,01$) plus longue chez les fumeurs (85 min) que chez les non-fumeurs (62 min). La durée de port est liée au confort ($p < 0,001$) et à la gêne respiratoire ($p < 0,001$) des APR.

Enfin, la durée moyenne de port est liée à la réponse à la question relative à la difficulté à garder l'APR ($p < 0,001$). Sans intérêt pratique, cette relation témoigne de la bonne cohérence des réponses des salariés.

2.1.6. Autres évaluations subjectives

Le *tableau II* présente les remarques faites oralement par les salariés à la fin de chaque période de 60 minutes de port des différents APR. Les remarques identiques faites par plus du quart des salariés sont reportées dans ce tableau, ainsi qu'une estimation par les expérimentateurs du degré d'humidité à l'intérieur du masque à la fin du test.

Les résultats du *tableau II* montrent que lors du port d'un PF, l'adaptation au visage, principalement au niveau du nez, et le volume de ces masques sont les gênes les plus importantes. Le contact irritant avec la peau, en particulier dans les conditions les plus chaudes, est très fréquemment indiqué après le port d'un FF. Dans ces conditions, le masque n° 4 est même jugé étouffant. La quantification de l'humidité dans le masque est grossière et, de ce fait, ne traduit que partiellement la capacité du masque n° 2 à rester sec plus particulièrement dans les situations les plus chaudes.

2.2. Conditions de travail

2.2.1. Charge physique de travail

La *figure 6* présente la distribution des dépenses énergétiques observées au cours des 180 tests.

Les résultats de la *figure 6* montrent que l'intensité de travail physique des 30 salariés est légère ou modérée dans 75 % des cas. Elle ne dépasse qu'exceptionnellement (7 tests) la limite du travail dur (340 W). La fuite mesurée (Ft) est significativement ($p < 0,01$) plus faible lorsque les dépenses énergétiques sont supérieures à 250 W que lorsqu'elles sont inférieures à 250 W. Pourtant, la concentration du polluant ($p > 0,4$) et la t_a ($p > 0,3$) ne sont pas significativement différentes dans les postes appartenant à l'une ou l'autre de ces deux classes de dépense énergétique. Dans les conditions de la présente étude, aucune réponse subjective n'est liée à la dépense énergétique.

2.2.2. Contrainte thermique

Les températures moyennes mesurées étaient de 18,0 °C ($e-t = 5,4$) pour l'air sec (t_a) et 11,1 °C ($e-t = 3,7$) pour la température humide t_h . Dans les conditions de la présente étude, t_h et t_a sont étroitement corrélées ($p < 0,001$). En conséquence, la grandeur représentative de la contrainte thermique sera t_a . Les moyennes de t_a dans les quatre entreprises étaient respectivement de 20,9 ; 16,4 ; 10,9 et 22,3 °C. Les

conditions thermiques étaient significativement différentes dans ces quatre entreprises ($p < 0,001$). Par ailleurs, la concentration du toxique dans l'ambiance de travail (Ct) augmente lorsque la t_a diminue ($p < 0,01$).

2.3. Relations entre les résultats objectifs et subjectifs

La gêne respiratoire n'est pas liée à la dépense énergétique de travail ou aux résistances des APR mesurées au cours des tests normalisés. Lorsque t_a est plus élevée, l'inconfort des APR ($p < 0,01$) et la gêne respiratoire ($p < 0,001$) augmentent. Les sujets qui indiquent les durées de port les plus longues sont aussi ceux qui travaillent dans les t_a les plus basses. A titre d'exemple, la moyenne géométrique de la durée de port, estimée au cours des 90 tests ayant eu lieu à des t_a inférieures à 17,5 °C, est de 100 minutes. Elle n'est que de 70 minutes pour les 90 tests qui ont été menés à des t_a supérieures à 17,5 °C. Cette différence est significative ($p < 0,001$).

2.4. Relations entre les fuites mesurées et la température de l'air

La fuite mesurée (Ft) augmente lorsque la concentration du toxique (Ct) dans l'ambiance de travail est plus faible [19] et lorsque t_a augmente ($p < 0,001$). La relation entre t_a et Ct (cf § 2.2.2) pourrait expliquer la relation entre t_a et Ft. Une analyse de la variance de la Ft liée à t_a et à Ct a été réalisée. Les valeurs de t_a et de Ct ont été scindées en deux classes : la première pour les valeurs supérieures à la médiane (17,5 °C pour t_a et 1 060 mg.m⁻³ pour Ct) de la variable correspondante, la deuxième pour les valeurs inférieures à la médiane. Cette analyse montre que les effets de t_a et Ct sont tous les deux significatifs ($p < 0,001$) et leur interaction modifie significativement Ft ($p < 0,01$). Le *tableau III* illustre cette interaction. Les résultats de ce *tableau* montrent que pour les concentrations de toxique les plus faibles, la t_a a peu d'influence sur la fuite. En effet, Ft est égale à 16 % pour les t_a inférieures à 17,5 °C et à 19 % pour les t_a supérieures à 17,5 °C. Par contre, lorsque les concentrations de toxique sont élevées, Ft est environ 3 fois plus importante (9,2 %) lorsque t_a est supérieure à 17,5 °C que lorsqu'elle est inférieure à 17,5 °C (Ft = 3,6 %). Ainsi, t_a a pour effet d'augmenter la fuite lorsque le risque toxique est le plus marqué.

3. Discussion

3.1. Validité des réponses subjectives

Les résultats de la présente étude sont principalement basés sur des réponses subjectives recueillies dans quatre entreprises. Les niveaux d'empoussièrments, les conditions thermiques, la localisation géographique et l'environnement social de ces quatre sites sont différents. Les réponses à des évaluations subjectives pourraient être biaisées par ces environnements différents. Trois indicateurs montrent cependant qu'elles sont homogènes d'une entreprise à l'autre.

■ ■ Premièrement, les variances des réponses subjectives dans chaque entreprise sont homogènes. Ceci montre que les salariés interrogés dans les différents sites ont un mode de réponse commun et ont perçu la métrique des échelles d'évaluation de façon identique.

■ ■ Deuxièmement, les réponses aux questions relatives à la difficulté de mettre le masque et à la gêne visuelle permettent de constater que les réponses des 30 salariés sont semblables. Ces deux questions sont les seules qui soient indépendantes des conditions thermiques. Pour la question relative à la difficulté à mettre en place l'APR, il n'y a pas de différence significative entre les entreprises. C'est la raison pour laquelle les réponses à cette question sont présentées, car elle n'a que peu de valeur quant à l'estimation réelle de la difficulté à mettre un APR. Cependant, elle montre l'homogénéité des réponses des salariés qui étaient tous dans la même condition pour mettre l'APR.

La gêne visuelle est identique dans les entreprises 1, 3 et 4. La différence relevée dans l'entreprise 2 est explicable par la contrainte visuelle spécifique des tâches de contrôle qui y sont réalisées. Le fait que les moyennes des gênes visuelles des différents masques soient liées à la valeur de l'amputation du champs visuel binoculaire qu'ils provoquent confirme la validité du jugement des salariés.

■ ■ Troisièmement, les réponses des salariés sont comparables et entraînent les mêmes conclusions que celles obtenues en interrogeant des sujets en situation de laboratoire. En effet, des questions identiques relatives aux gênes visuelle et respiratoire et à l'efficacité des APR ont été posées à 10 sujets en situation expérimentale.

tale [24]. L'estimation de la gêne visuelle montre que les FF sont moins gênants que les PF pour les salariés comme pour les sujets de laboratoire. La perception de l'efficacité des PF est identique pour les sujets de laboratoire et les salariés. En revanche, la différence très nette d'appréciation de l'efficacité entre les PF et les FF relevée au laboratoire n'est pas retrouvée chez les salariés interrogés au cours de la présente étude. Cependant, les deux FF testés par les salariés étaient parmi les meilleurs FF testés au laboratoire. Les estimations des gênes respiratoires recueillies en laboratoire comme en situation de travail, montrent que les FF induisent une gêne respiratoire plus importante que les PF. Ces résultats sont en contradiction avec les mesures des résistances inspiratoires objectives. En effet, les PF ont des résistances supérieures aux FF.

La gêne respiratoire rapportée en situation de travail est plus importante que celle indiquée par des sujets plus jeunes au laboratoire. Pourtant, en situation expérimentale, la charge de travail était très sensiblement supérieure à celles observées au cours de la présente étude. L'âge des salariés et surtout la durée de port plus longue peuvent expliquer l'augmentation de la gêne respiratoire en situation de travail. A notre connaissance, l'effet de l'humidité sur la résistance inspiratoire des APR n'a jamais été étudié [5]. Pourtant, le caractère étouffant du masque n° 4 pourrait être expliqué par une élévation des résistances respiratoires due à la saturation en eau de la partie filtrante de l'APR.

3.2. Interprétation des résultats subjectifs

Les résultats de la présente étude montrent que la durée de port d'un APR est de l'ordre d'une heure. Cette durée est dépendante de variables individuelles comme la consommation de tabac, la gêne respiratoire et la perception du confort de l'APR. Cependant, la t_a est le principal paramètre d'influence sur la durée de port acceptable d'un APR. Cette grandeur modifie en effet de façon importante la plupart des réponses subjectives recueillies au cours de cette étude. Ce résultat confirme les données de la littérature sur l'inconfort accru des équipements de protection en situation de contrainte thermique [2, 5, 9, 14, 15]. Johnson et Cummings [9] ont montré que les capacités de travail avec APR étaient fortement réduites lorsque le travail était réalisé à 35 °C par rapport à une ambiance plus confortable ($t_a = 20$ °C).

TABLEAU II

REMARQUES FAITES POUR CHAQUE MASQUE PAR PLUS DU QUART DES SALARIÉS ET QUANTIFICATION DU DEGRÉ D'HUMIDITÉ DANS LE MASQUE APRÈS 1 HEURE DE PORT

Masques nos	Remarques (1)	Humidité (2)
1	Lourd ; volumineux ; s'adapte mal au nez	++
2	Encombrant ; gêne la vision pour les tâches délicates ; S'adapte mal au nez	0/+
3	Bien ; masque agréable	+
4	Tient chaud ; impression d'étouffement ; gratte	+ / ++
5	S'adapte mal au nez	+
6	Bien car léger ; sangles trop fines ; gratte quand mouillé	+ / ++

(1) Indiquées par 8 salariés au moins. (2) 0=sec, +=humide, ++=mouillé.

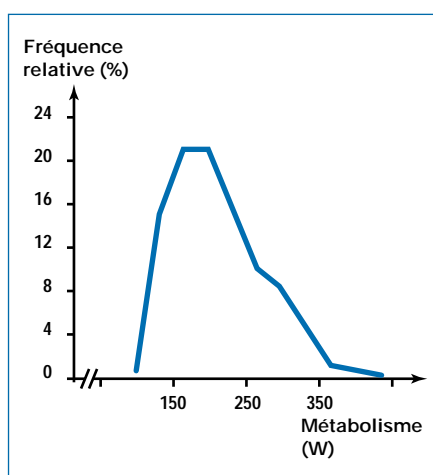


Fig. 6. Distribution des valeurs de dépense énergétique observées au cours des 180 tests

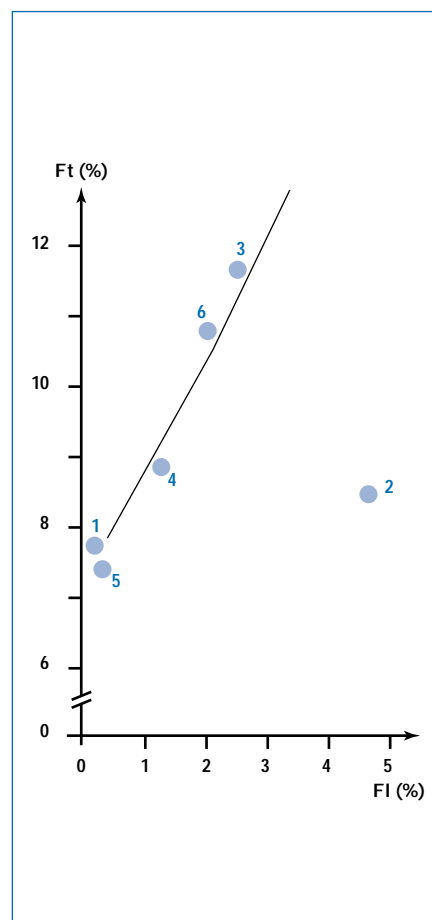


Fig. 7. Diagramme présentant les valeurs moyennes de la fuite mesurée (F_t) en situation de travail (moyenne géométrique) en fonction de la fuite mesurée (F_I) au cours d'essais normalisés (moyenne arithmétique). Les chiffres indiquent la correspondance aux APR du tableau I I

TABLEAU III

VALEURS MOYENNES DES FUITES MESURÉES (F_t) DANS QUATRE CONDITIONS DE TRAVAIL À CONCENTRATION DE TOXIQUE (C_t) FAIBLE OU ÉLEVÉE ET TEMPÉRATURE DE L'AIR FAIBLE OU ÉLEVÉE

		Température :	
		< 17,5 °C	> 17,5 °C
		Ft mesurée (%) :	
Concentration :	> 1 060 mg.m ⁻³	3,6 %	9,2 %
	< 1 060 mg.m ⁻³	16,0 %	19,0 %

Les résultats de la présente étude montrent que l'influence de t_a sur les paramètres de confort est importante, même pour des températures d'air voisines de 20 °C. Le fait que la t_a sous le masque soit supérieure de 6 à 7 °C à la t_a du poste de travail [15] peut expliquer ce résultat.

3.3. Différences entre les fuites mesurées au laboratoire et en situation de travail

Le graphique de la *figure 7* est une illustration des résultats moyens des APR. Du fait de la dispersion des fuites mesurées en situation de travail, les résultats des masques ne sont pas statistiquement différents [19]. La *figure 7* présente les fuites moyennes des six APR mesurées au cours des tests normalisés par rapport aux moyennes géométriques des fuites mesurées en situation réelle de travail pour chaque APR.

La représentation de la *figure 7* montre que :

- l'efficacité de la protection des APR en situation de travail est sensiblement moins bonne que celle mesurée au laboratoire ;
- l'efficacité en situation de travail par rapport aux résultats de laboratoire semble dégradée de façon similaire pour tous les appareils, sauf l'APR n° 2. Ce dernier, qui avait la moins bonne efficacité au laboratoire, a des performances proches des deux meilleurs APR en situation de travail.

La nature du toxique, l'inconfort des APR portés longtemps et l'influence de la température sèche de l'air peuvent expliquer la différence entre l'efficacité des APR mesurée au laboratoire et en situation réelle de travail.

3.3.1. Influence de la nature du polluant

Le « polluant » utilisé au cours des tests normalisés est un aérosol de chlorure de sodium (NaCl). Par nature, cet aérosol n'est pas toxique et est absorbé au niveau de l'appareil respiratoire. L'air expiré ne contient plus de NaCl et à chaque début d'inspiration le volume sous le masque est rempli d'air « propre ». En revanche, dans le cas de la présente étude, comme dans la majorité des situations de travail, le toxique n'est pas totalement retenu dans les voies respiratoires. Au début d'une phase inspiratoire, l'air sous le masque contient donc une certaine quantité de toxique, à laquelle va s'ajouter celle qui pénètre à l'inspiration suivante. Pour un toxique dont la partie retenue dans l'arbre respiratoire serait nulle, on peut imaginer que les concentrations dans l'ambiance et sous le masque s'égalisent après un temps de port variable. Celui-ci serait d'autant plus long que les masques sont plus efficaces. L'effet lié au toxique, et en particulier sa rétention dans l'appareil respiratoire, est probablement l'élément explicatif essentiel de la différence de performance des APR entre les situations de travail réelles et le laboratoire. De nombreuses études sur les différentes sources d'erreur de calcul de la fuite des APR ont été menées pour expliquer et modéliser celle-ci [25 à 27]. En fait, ces travaux sont toujours théoriques. A notre connaissance, Fairchild et Stampfer [26] ont été les premiers à évoquer l'incidence du polluant dans l'air expiré lorsque la fuite est mesurée par comptage des particules. Da Roza et coll. [27] ont démontré que le nombre de particules dans l'air expiré réduisait de façon importante l'efficacité des APR.

3.3.2. Influence de l'inconfort

Au cours des tests normalisés, la durée de port du masque était comprise entre 13 et 15 minutes. Dans les conditions de la présente étude, les APR étaient portés pendant une heure, soit une durée proche de la limite acceptable de port d'un APR. En conséquence, un port moins rigoureux des APR, en particulier à la fin des tests, n'aurait pas été surprenant. Ceci n'a pas été observé par les expérimentateurs qui suivaient les salariés pour contrôler le bon fonctionnement des pompes de prélèvement [19]. La façon de porter l'APR ne semble donc pas déterminante dans l'explication de la différence d'efficacité des

APR entre les situations de travail, où ils ont été mis en place avec l'aide des expérimentateurs et les tests normalisés réalisés en laboratoire.

3.3.3. Influence de la température d'air

Une autre hypothèse explicative de la différence entre les performances des APR au laboratoire et en situation de travail pourrait être que les fuites des APR sont liées à l'humidité dans le masque ou entre la peau et le masque [5]. Les résultats de la *figure 7* montrent que le masque n° 2, qui avait les moins bonnes performances aux tests normalisés, apporte en situation de travail une protection similaire à celles des deux meilleurs APR. Ce résultat peut s'expliquer par le plus faible niveau d'humidité observé dans ce masque, du fait de sa conception avec deux cartouches filtrantes qui est unique dans la série testée. De ce fait, à chaque inspiration, la ventilation sous le masque avec de l'air ambiant sèche celui-ci de façon plus efficace que les autres PF qui sont équipés d'une seule cartouche filtrante. Pour ces derniers, le flux d'air inspiratoire ne se disperse pas dans l'ensemble du volume du masque pour sécher celui-ci.

L'influence de t_a sur l'efficacité des APR pourrait être liée à l'humidité qui s'accumule sous ces appareils. Cependant, la démonstration de l'existence et le mécanisme de cet effet n'est pas possible dans les conditions d'une étude de terrain.

3.4. Conséquences pratiques

Les résultats discutés plus haut montrent que la fuite totale des APR mesurée selon les recommandations de la norme NF EN 140 [20] permet de classer des APR. Par contre, le facteur de protection qu'elle calcule est d'un intérêt limité pour estimer la protection réelle apportée par un APR en situation de travail.

Les durées de port maximales indiquées par les salariés au cours de cette étude montrent que le choix d'une protection individuelle doit modifier l'organisation du travail afin que les durées de port soient inférieures à 1 heure. La rotation des tâches permet d'interrompre l'exposition. Durant les pauses, les salariés doivent pouvoir sécher l'APR ou en changer et se rafraîchir. Une mise en place efficace de cette organisation doit faire intervenir les salariés [2 à 5]. Ceux-ci doivent choisir

l'APR qu'ils porteront dans une gamme d'appareils qui respectent les prescriptions techniques imposées par l'ambiance de travail. Dans la note globale donnée aux APR, les salariés donnent près de 3 fois plus de poids au confort qu'à l'efficacité de l'APR. Pour être porté, un APR doit être confortable. La difficulté de jugement de l'efficacité de la protection apportée par un APR met en évidence la nécessité de l'information et de la formation des salariés sur l'importance de porter un APR, le choix et la manière de porter l'appareil [2, 4, 5]. Cette information doit tenir compte des conditions de travail et en particulier de la contrainte thermique essentielle, tant pour le confort que pour l'efficacité de l'APR choisi.

CONCLUSION

Le jugement subjectif de différentes caractéristiques du confort d'appareils de protection respiratoire (APR) réalisé par des salariés est cohérent avec des données objectives, comme l'amputation du champ visuel ou la fuite mesurée, et avec les estimations données par des sujets en situation de laboratoire. Ces estimations démontrent l'influence essentielle au poste de travail de la température sèche de l'air t_a sur le confort, la durée possible de port et la protection effective de l'APR. Le choix d'un appareil doit se faire en considérant les caractéristiques du polluant et la protection théorique du masque. Pour que celle-ci ne soit pas illusoire, il est essentiel de prendre en compte la contrainte thermique au poste et l'appréciation du confort de l'APR par les sujets qui auront à le porter. En effet, le niveau de confort de l'appareil va modifier la façon de le porter et en conséquence, son efficacité.

Les limites de durées de port d'un appareil de protection respiratoire doivent être définies en fonction des conditions thermiques du poste de travail. Elles ne doivent jamais excéder 70 minutes en continu dans les meilleures conditions et 45 minutes en situation chaude. L'organisation du travail doit être discutée afin d'autoriser une rotation des tâches et ce faisant, des expositions. Des zones non exposées aux polluants doivent permettre aux salariés d'enlever l'APR, de se rafraîchir le visage, d'utiliser alternativement 2 APR pour que ces appareils restent secs, confortables et le plus efficaces possible. □

BIBLIOGRAPHIE

- 1 BUE J., CRISTOFARI M.F. - Contraintes et nuisances dans la vie de travail (enquête nationale de mars 1984 sur les conditions de travail). Paris, Ministère du Travail, 1986, coll. *Dossiers statistiques du Travail et de l'Emploi*, n° 20, pp. 5-95.
- 2 Directive 89/391/CEE du Conseil concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé pour l'utilisation par les travailleurs au travail d'équipements de protection individuelle. *Journal Officiel des Communautés Européennes*, n° L. 393/18 du 30 décembre 1989.
- 3 WHITE M.C., BAKER E.L., LARSON M.B., WOLFORD R. - The role of personal beliefs and social influences as determinants of respirator use among construction painters. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1988, 14, pp. 239-245.
- 4 PERUSSE M. - Le port des protecteurs individuels: Une stratégie à développer. *Travail et Santé*, 1991, 7, pp. 17-22.
- 5 HARBER P., BARNHART S., BOEHLLECKE B.A. et coll. - Respiratory protection guidelines. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*, 1996, 154, pp. 1153-1165.
- 6 BENTLEY R.A., GRIFFIN O.G., LORE R.G., MUIR D.C.F., SWEETLAND K.F. - Acceptable levels for breathing resistance of respiratory apparatus. *Archives of Environmental Health*, 1973, 27, pp. 273-280.
- 7 LOUHEVAARA V.A. - Physiological effects associated with the use of respiratory protective devices. A review. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1984, 10, pp. 275-281.
- 8 HARBER P., SHIMOZAKI S., BARRAETT T., FINE G. - Determinants of pattern of breathing during respirator use. *American Journal of Industrial Medicine*, 1988, 13, pp. 253-262.
- 9 JOHNSON A.T., CUMMINGS E.G. - Mask design considerations. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1975, 36, pp. 220-228.
- 10 LERMAN Y., SHEFER A., EPSTEIN Y., KEREN G. - External inspiratory resistance of protective respiratory devices: Effects on physical performance and respiratory function. *American Journal of Industrial Medicine*, 1983, 4, pp. 33-40.
- 11 SELIGA R., BHATTACHARYA A., SUCCOP P., WICKSTROM R., SMITH D., WILLEKE K. - Effect of work load and respirator wear on postural stability, heart rate, and perceived exertion. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1991, 52, pp. 417-422.
- 12 JONES J.G. - The physiological cost of wearing a disposable respirator. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1991, 52, pp. 219-225.
- 13 MARTIN H. de V., CALLAWAY S. - An evaluation of the heat stress of a protective face mask. *Ergonomics*, 1974, 17, pp. 221-231.
- 14 NIELSEN R., GWOSDOW A.R., BERGLUND L.G., DU BOIS A.B. - The effect of temperature and humidity levels in a protective mask on user acceptability during exercise. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1987, 48, pp. 639-645.
- 15 DU BOIS A.B., HARB Z.F., FOX S.H. - Thermal discomfort of respiratory protective devices. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1990, 51, pp. 550-554.
- 16 MORGAN W.P. - Psychological problems associated with the wearing of industrial respirators: A review. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1983, 44, pp. 671-676.
- 17 ZIMMERMAN N.J., EBERTS C., SALVENDY G., Mc CABE G. - Effects of respirators on performance of physical, psychomotor and cognitive tasks. *Ergonomics*, 1991, 34, pp. 321-334.
- 18 MANNINEN A., KLEN T., PASANEN P. - Evaluation of comfort and seal leakages of several respirators used in agricultural work. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1988, 49, pp. 280-285.
- 19 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. *Journal of the International Society of Respiratory Protection*, 1993, 11, 3, pp. 15-39.
- 20 NF EN 140 - Appareils de protection respiratoires. Demi-masques et Quart de masques. Exigences, essais, marquage. Paris - La Défense, AFNOR, juin 1990.
- 21 NF S 76-022 - Appareils de protection respiratoires, filtres à particules. Exigences, essais, marquage. Paris - La Défense, AFNOR, 1983.
- 22 MARTIN P., VILLA M., FRANCOIS D., MEYER J.P., HORWAT F., APTEL M., DIDRY G. - Masques antipoussières, résultats de la sixième campagne d'essais. *Travail et Sécurité*, 1987, 6, pp. 364-387.
- 23 MEYER J.P., HORWAT F., DIDRY G. - Comparaison de différentes méthodes d'estimation de la dépense énergétique en situation de travail. *Archives des Maladies Professionnelles*, 1991, 52, pp. 17-23.
- 24 MEYER J.P. - Appareils de protection respiratoire contre les poussières. Comparaison de l'évaluation subjective avec les tests objectifs normalisés. Intérêt pratique. *Cahiers de Notes Documentaires*, 1990, 141, pp. 827-831.
- 25 XU M., HAN D., HANGAI S., WILLEKE K. - Respirator fit and protection through determination of air and particle leakage. *Annals of Occupational Hygiene*, 1991, 35, pp. 13-24.
- 26 FAIRCHILD C.I., STAMPFER J.F. - Particle concentration in exhaled breath. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1987, 48, pp. 948 - 949.
- 27 Da ROZA R.A., BIERMAN A.H., FOOTE K.L., Mc CORMACK C., SACKETT C.R. - Evaluation of portacount for determining respirator fit factors, part 3: Human subject tests and comparison with an aerosol photometer. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 1991, 9, pp. 22-37.

