

Notes techniques

EFFICACITÉ BARRIÈRE DES MASQUES FFP (AVEC ET SANS SOUPAPE EXPIRATOIRE) ET CHIRURGICAUX FACE AUX RISQUES DE PROPAGATION VIRALE

Différents types de masques sont aujourd'hui utilisés sur le lieu de travail afin de limiter la propagation du virus Sars-CoV2, agent responsable de la Covid-19. Des mises en garde sur l'utilisation de masques de type « pièce faciale filtrante » (FFP) avec soupape ont été émises au début de la crise sanitaire malgré le faible nombre de données scientifiques sur le sujet. L'INRS a développé un protocole expérimental pour déterminer l'efficacité de contrôle à la source (ou efficacité barrière) de différents types de masques, qui a permis de montrer que l'impact de la soupape expiratoire n'était pas significatif vis-à-vis de l'émission de particules de tailles situées autour de 1 µm et 3 µm de diamètre, par une tête factice qui respire normalement et donc, que les efficacités des masques FFP sont comparables, qu'ils soient munis d'une soupape expiratoire ou non.

SANDRINE
CHAZELET,
STÉPHANIE
PACAULT
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Dans le contexte actuel de pandémie, les recherches sur les modes de transmission du virus Sars-CoV-2, agent responsable de la Covid-19, ont conduit l'Organisation mondiale de la santé à identifier les gouttelettes chargées de virus émises par les personnes infectées comme l'une des sources de transmission de la maladie. La caractérisation de cette source est particulièrement complexe car, selon qu'elles toussent, parlent ou respirent, les personnes émettent des gouttelettes de tailles très variables, entre moins de 1 µm de diamètre et plus de 100 µm de diamètre. Pour prévenir ce mode de transmission du Covid-19, les mesures de protection intègrent différents types de masques en fonction de l'environnement de travail et de la tâche réalisée par le porteur du masque (INRS, ED 6392 ; Cf. *Pour en savoir plus*), notamment les masques chirurgicaux et masques de type FFP (Cf. *Encadré*). Parmi les masques de type FFP, de nombreux modèles intègrent une soupape expiratoire pour

atténuer l'effort respiratoire lié au port de ce type de masque. Ces masques avec soupape sont utilisés plus généralement dans les secteurs de l'industrie, du BTP, des déchets ou de l'agroalimentaire.

Dans le cadre de la pandémie de Covid-19, l'usage de ces modèles de masques a été largement réduit du fait de la propagation potentielle d'aérosols au travers de cette soupape, qui s'ouvre au moment de l'expiration du porteur. Or, très peu de données existent dans la littérature pour quantifier l'émission d'aérosol *via* la soupape. Des travaux basés sur la visualisation du flux d'air chaud, ou d'un flux de fumées sortant par la soupape expiratoire d'un masque lors de l'expiration, ont montré qu'une émission existait effectivement *via* la soupape, mais ces travaux n'intégraient pas de caractérisation de la granulométrie des particules émises, ni de quantification de ce flux de particules [4].

Le Niosh (*National institute for occupational safety and health* : Institut national pour la santé et la sécurité au travail, États-Unis) a réalisé une étude sur treize modèles de masques de type pièce faciale

RÉSUMÉ

Afin de comparer les différents types de masques utilisés dans le cadre de la pandémie de Covid-19, l'INRS a conduit une étude expérimentale visant à mesurer l'efficacité de contrôle à la source de ces masques. Prenant en compte les fuites entre le masque et une tête factice, les essais mesurent l'efficacité de contrôle à la source des particules de 1 µm et 3 µm émises par une tête factice, qui respire à différents débits

(du repos à une respiration intense). Trois catégories de masques ont été comparées : les masques chirurgicaux et les masques de type FFP, sans et avec soupape expiratoire. Si aucun effet du débit respiratoire ou de la taille des particules n'a été observé dans les conditions testées, l'étude montre que l'efficacité de contrôle à la source des masques chirurgicaux est inférieure en moyenne à celle des masques de type FFP,

pour lesquels aucun effet significatif de la soupape n'a été mesuré. Les résultats montrent aussi que, dans un contexte de pandémie, le port du masque ne peut à lui seul suffire, et que les autres mesures de protection (ventilation, éloignement, hygiène, etc.) doivent continuer de s'appliquer, pour limiter les risques de propagation virale.

SOURCE CONTROL EFFICIENCY OF FFP MASKS (WITH AND WITHOUT EXHALATION VALVES) AND SURGICAL MASKS AGAINST THE SPREAD OF VIRUSES

In order to compare the different types of masks used within the framework of the Covid-19 pandemic, INRS led an experimental study aimed at measuring the source control performance of these masks. Taking into account leakage between the mask and a dummy head, the tests measured source control efficiency for particles ranging between 1 µm and 3 µm emitted by a dummy

head, at different respiratory rates (from rest to heavy breathing). Three categories of masks were compared: surgical masks and FFP-type masks, with and without exhalation valves. While no effects were observed regarding the breathing rate and particle size under the conditions tested, the study shows that the source control performance of surgical masks is generally lower

than that of FFP-type masks, for which no significant effect of the exhalation valve was measured. Results also show that, in a context of pandemic, wearing masks alone is not sufficient, and that other protective measures (ventilation, distancing, proper hygiene, etc.) must continue to be applied, in order to limit the spread of the virus.



filtrante avec soupape expiratoire [5]. L'objet était de comparer l'efficacité de filtration du masque dans le sens habituel de son évaluation, c'est-à-dire lorsque l'air chargé en particules circule de l'extérieur vers l'intérieur du masque, avec l'efficacité du même masque lorsque l'air circule cette fois de l'intérieur du masque vers l'extérieur, simulant l'émission de particules par son porteur. Ces mesures ont été réalisées sur des particules fines de 0,35 µm de diamètre, à débit continu, et sur des masques scellés à leur support. Les résultats confirment une baisse d'efficacité de filtration lorsque le flux d'air chargé en particules fines circule de l'intérieur vers l'extérieur du masque et peut donc passer à travers l'ouverture de la soupape. L'efficacité passe d'une valeur supérieure à 95 % à une valeur moyenne voisine de 70 % (avec des valeurs minimales à 45 %). Comme l'indiquent les rédacteurs de ce rapport, ces données sont limitées, car elles n'intègrent pas les fuites au visage et ne permettent pas de comparer ces résultats à ceux obtenus pour d'autres types de masques, à l'instar des chirurgicaux.

Les travaux réalisés à l'INRS permettent de compléter ces données, en mesurant l'efficacité de différents types de masques comme élément de contrôle à la source (ou barrière) en intégrant les fuites au visage.



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2017

ENCADRÉ

LES DIFFÉRENTS TYPES DE MASQUES ET LEURS NORMES DE RÉFÉRENCE

• **Les masques chirurgicaux** sont des dispositifs médicaux. Ils sont certifiés selon la norme EN 14683 + AC [1], qui impose une efficacité de filtration minimale du matériau filtrant qui constitue ces masques de 95 % pour la classe I ou 98 % pour la classe II, vis-à-vis des particules bactériologiques de 3 µm de diamètre à une vitesse de filtration de 9,6 cm/s. Pour les masques chirurgicaux, l'efficacité de filtration (du matériau filtrant) est mesurée avec un flux d'air circulant de l'intérieur du masque vers l'extérieur, l'objectif étant d'évaluer la capacité de ces masques à retenir les particules émises par leur porteur.

• **Les masques de type FFP** sont des appareils de protection respiratoire. Ils sont certifiés selon la norme EN 149 + A1 [2]. Cette norme impose d'une part une efficacité de filtration élevée du matériau filtrant, et une fuite totale vers l'intérieur faible, déterminée sur un panel de sujets

et permettant de s'assurer d'un bon ajustement du masque au visage. Trois classes de pièces faciales filtrantes existent. Elles sont notées FFP1, FFP2 et FFP3 dans l'ordre croissant de leur niveau de protection. Par exemple, pour un masque de type FFP2, l'efficacité de filtration du matériau filtrant doit être supérieure à 94 % vis-à-vis d'un aérosol solide inerte de 0,6 µm de diamètre et d'un aérosol liquide de 0,4 µm de diamètre, à un débit de filtration de 95 L/min, réparti sur toute la surface du masque. Dans le cadre de la lutte contre la Covid-19 et suite à la pénurie de masques de type FFP du début de la crise, l'Union européenne a autorisé l'importation d'appareils de protection respiratoire certifiés selon des normes étrangères jusqu'au 1^{er} septembre 2020, puis l'écoulement des stocks réalisés jusqu'au 1^{er} mars 2021. C'est le cas par exemple des masques de type N95 américain certifiés selon le référentiel NIOSH 42C FR84 : 2004 [3], dont les propriétés

sont proches de celles des masques FFP2. Dans le cas des masques N95, l'efficacité de filtration est supérieure à 95 % pour les particules solides de 0,075 µm de diamètre, à un débit de filtration de 84 L/min sur l'ensemble du masque. Pour tous ces appareils, l'efficacité de filtration est mesurée avec un flux d'air circulant de l'extérieur du masque vers l'intérieur, l'objectif étant de l'évaluer en tant qu'appareil de protection respiratoire, c'est-à-dire protégeant le porteur.

En savoir plus :

- *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation.* INRS, 2019, ED 6106. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?ref=INRS=ED%206106.
- *Foire aux questions – Masques de protection respiratoire et risques biologiques.* Accessible sur : www.inrs.fr/risques/biologiques/faq-masque-protection-respiratoire.html.
- *Covid-19 – Modes de transmission et efficacité du port de masque de type N95 et du masque médical : revue de la littérature.* Institut national de santé publique du Québec, 7 janvier 2022. Accessible sur : <https://inspq.qc.ca/publications/3193-transmission-efficacite-masque-covid>.

Matériel et méthodes

Masques étudiés

Neuf modèles de masques de trois types ont été sélectionnés pour cette étude :

- trois masques chirurgicaux à usage unique, certifiés selon EN 14683 + AC (notés M1 à M3) (Cf. *Tableau 1*) [1] ;
- deux masques de type FFP sans soupape, certifiés FFP2 selon EN 149 + A1, ou N95 selon Niosh 42 CFR 84¹ (notés P1 et P2) (Cf. *Tableau 2*) [2, 3] ;
- quatre masques de type FFP avec soupape, certifiés FFP1 ou FFP2 selon EN 149 + A1 (notés Pv1 à Pv4) (Cf. *Tableau 3*) [2].

Ces masques sont tous de taille unique. Trois exemplaires de chaque modèle de masque ont été testés afin d'intégrer la variabilité due au masque et à sa pose sur la tête.

Protocole expérimental

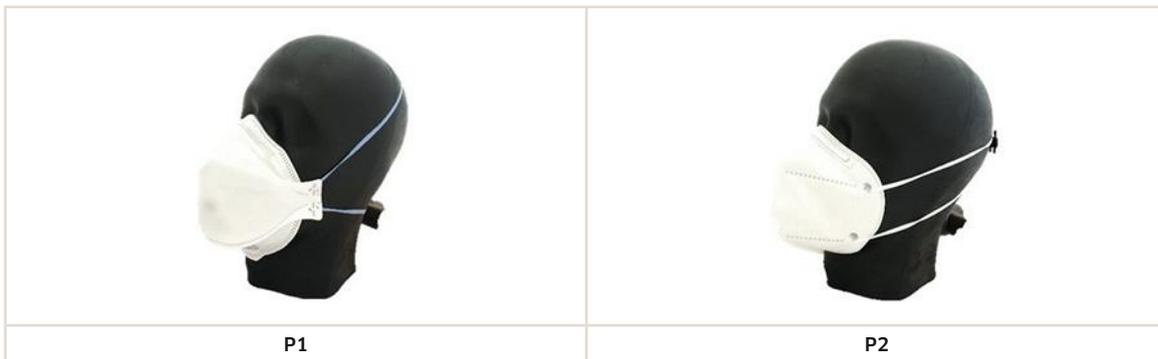
La *Figure 1* présente le schéma de principe du banc d'essai. Une tête factice est positionnée dans une zone de section carrée (600 mm × 600 mm). Cette tête est connectée à une « machine à respirer » (de type CBS Sperian) par deux tubes flexibles, l'un pour la circulation du flux expiré et l'autre pour la circulation du flux inspiré. Un débit total de 314 m³/h circule en continu dans la veine d'essai,

pour transporter les particules émises par la tête vers la zone de prélèvement, qui consiste en une buse de prélèvement isocinétique placée au centre du conduit de 200 mm de diamètre, connectée à un granulomètre (analyseur de taille des particules, de type *Aerodynamic Particle Sizer APS*, TSI 3321). La machine à respirer permet de simuler différents cycles respiratoires sinusoidaux. Leurs caractéristiques sont choisies pour se rapprocher des débits ventilés associés à des rythmes de travail léger (repos), moyen ou intense, respectivement égaux à 13 L/min, 27 L/min et 45 L/min, en accord avec la norme Iso 8996 [6].

Des particules de diéthylhexyl-sébaçate (DEHS), aérosol huileux², sont générées dans le flux expiré de la tête factice par le générateur de brouillard d'huile (de type Palas MAG 3000). Cet appareil permet de générer des aérosols faiblement polydispersés (*i.e.* dont la distribution de taille est restreinte). Les conditions de réglage choisies ont permis de générer deux aérosols de granulométries différentes. Leurs distributions suivent une loi log-normale, avec respectivement pour moyennes géométriques : 1 µm (écart-type géométrique $\sigma_g = 1,02$) et 3 µm (écart-type géométrique $\sigma_g = 1,09$)³. Le choix d'un aérosol inerte, plutôt que biologique, repose sur la volonté d'utiliser la métrologie du comptage



← TABLEAU 1
Photos des masques chirurgicaux jetables étudiés.



← TABLEAU 2
Photos des masques de type FFP sans soupape expiratoire.



← TABLEAU 3
Photos des masques de type FFP munis de soupapes expiratoires.

de particules dans des conditions stables. Des travaux scientifiques ont mis en évidence, depuis de nombreuses années, l'équivalence entre l'efficacité d'un matériau filtrant vis-à-vis d'un aérosol inerte et celle obtenue vis-à-vis d'un aérosol biologique de diamètre aérodynamique équivalent [7].

Un prélèvement isocinétique de l'aérosol est réalisé au moyen de l'analyseur de taille des particules, à une distance suffisamment importante de la source d'émission pour s'assurer de l'homogénéité de la concentration en aérosol sur la section du conduit. Le débit de prélèvement est de 5 L/min et le flux est dilué cent fois avant analyse. Cet appareil permet de mesurer la concentration en nombre de particules sur plusieurs canaux. Dans le cas de ces essais, la concentration totale en aérosol généré est la somme des concentrations en nombre mesurées :

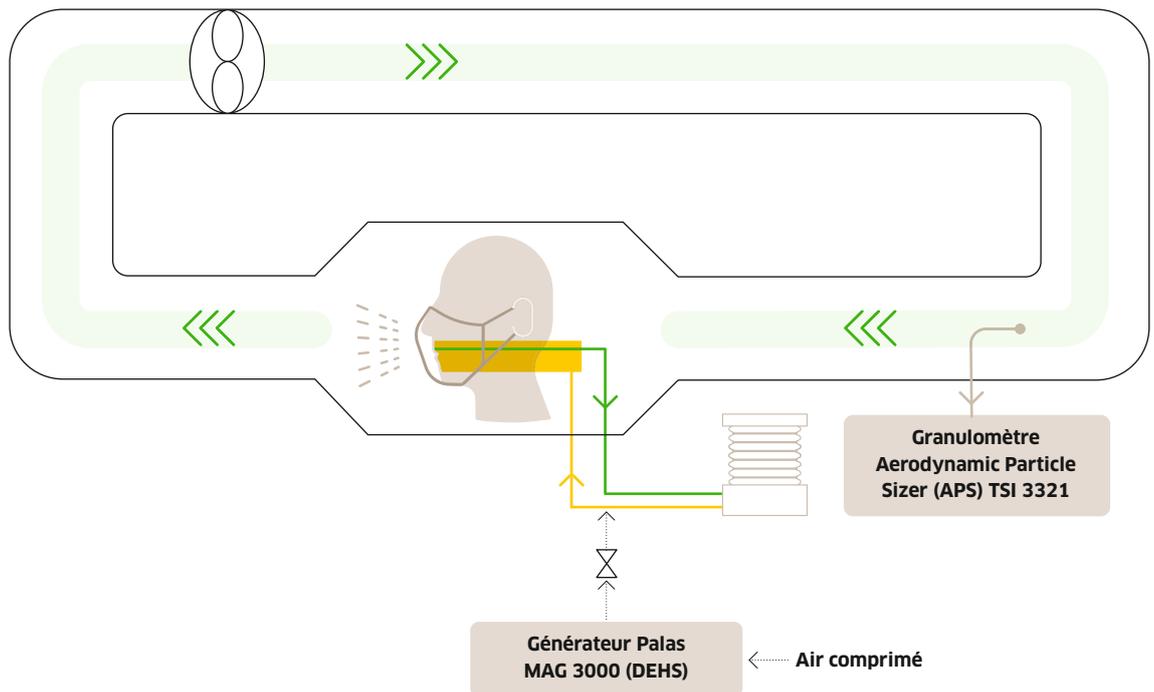
- sur cinq canaux entre 0,965 μm et 1,286 μm , pour l'aérosol centré sur 1 μm ;
- sur huit canaux entre 2,288 μm et 3,786 μm , pour l'aérosol centré sur 3 μm .

Le suivi au cours du temps de cette concentration en particules dans le banc d'essai permet de déterminer le débit d'émission des particules dans des conditions données. Le protocole détaillé et sa validation sont présentés dans un précédent article [8].

Lors de la réalisation de mesures, les particules de DEHS émises sont relativement visibles à l'œil nu. Mais, pour mieux discerner la trajectoire exacte prise par les particules expirées par la tête factice, une nappe laser a été installée dans le banc d'essai. Le laser (de type ZM18) permet de générer une nappe en croix, mettant en évidence les particules émises sur deux axes, l'un dans le sens de



FIGURE 1 →
Banc d'essai
pour la mesure
de l'efficacité
de contrôle
à la source.



la longueur du visage, du menton jusqu'au front, et l'autre dans sa largeur, de part et d'autre de la bouche. De cette manière, le laser couvre les zones de passage préférentielles des particules par les fuites entre le visage et le masque.

Traitement des données

Pendant la phase de génération de l'aérosol dans le flux expiré, les particules s'accumulent dans le

conduit. Les débits d'émission de l'aérosol sans et avec masque sont déterminés à partir de la concentration de l'aérosol mesurée avec l'APS en continu. La différence entre ces deux séries de mesure permet de déterminer le débit de particules collectées par le masque. L'efficacité de contrôle à la source est définie comme ce débit de particules collectées par le masque divisé par le débit de particules émises en l'absence de masque.

Prélèvement en vue d'un test PCR pour la détection du virus Sars-CoV-2. Le patient porte un masque chirurgical ; la personne chargée du prélèvement, un masque FFP 2 (sans soupape).



© Claude Almodovar pour l'INRS/2021

Pour chaque modèle de masque, trois exemplaires sont testés aux trois débits respiratoires et pour deux granulométries de l'aérosol. Dix-huit valeurs de l'efficacité de contrôle à la source sont ainsi obtenues pour chaque modèle de masque.

Un traitement statistique a ensuite été mené pour analyser ces données. Celles-ci ont été regroupées par catégorie de masque, compte tenu des caractéristiques communes des masques au sein de chaque catégorie. L'analyse statistique de ces données a été réalisée à l'aide d'un modèle de régression linéaire mixte, qui comprend trois facteurs fixes : le type de masque, la taille des particules et le débit respiratoire ; et un facteur aléatoire, lié au modèle de masque.

Résultats

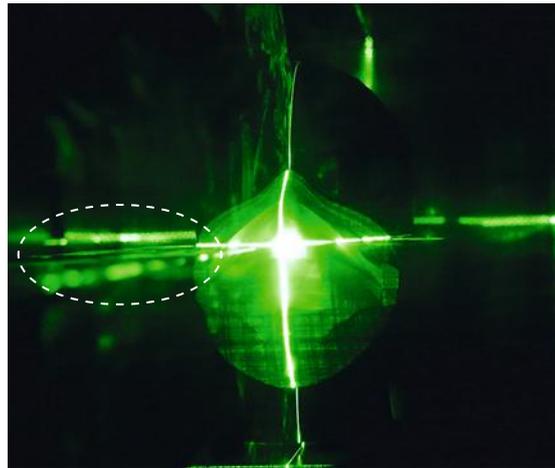
L'utilisation du laser a permis de mettre en évidence les zones de fuite au visage, par lesquelles les aérosols de DEHS étaient émis, et d'observer la diversité des situations en fonction des modèles de masques. Les fuites apparaissent principalement :

- au niveau des joues et du nez, pour les masques chirurgicaux (Cf. Figure 2) ;
- au niveau du nez, pour les masques de type FFP sans soupape (Cf. Figure 3) ;
- et au niveau de la soupape, mais également du nez, pour les masques de type FFP avec soupape (Cf. Figure 4).

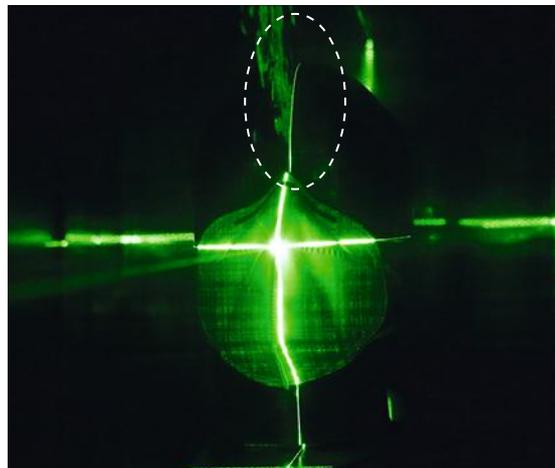
Les Figures 5 et 6 présentent respectivement les résultats d'efficacité de contrôle à la source, obtenus pour les différents modèles de masques vis-à-vis de particules de granulométries centrées sur 1 μm et sur 3 μm , et en fonction du débit respiratoire (les barres d'erreur correspondent à l'écart-type sur les trois poses).

Les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec le masque FFP2 (noté P1), pour lequel l'efficacité moyenne de contrôle à la source sur les trois échantillons est proche de 90 % pour les particules de 1 μm et de 3 μm . En moyenne, les masques FFP présentent des valeurs d'efficacité de contrôle à la source plus élevées que les masques chirurgicaux, malgré une grande variabilité des résultats. Si on considère les masques FFP avec soupape, on constate que le masque Pv4 présente des résultats similaires à ceux des masques chirurgicaux avec une efficacité moyenne ne dépassant pas 40 %. En revanche, les masques Pv1 et Pv2 présentent des efficacités du niveau de celles des masques FFP sans soupape, supérieures à 70 % en moyenne.

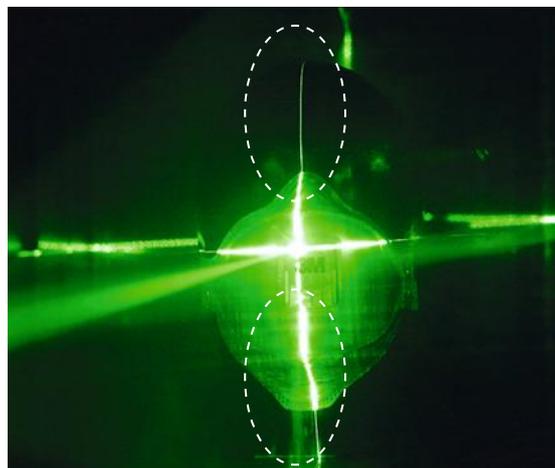
Les valeurs obtenues pour les différents types de masque sont par ailleurs très éloignées des valeurs d'efficacité de filtration des matériaux filtrants qui caractérisent ces masques (Cf. Encadré). Par exemple, la conformité aux exigences de la norme EN 14683+AC pour les masques chirurgicaux



← FIGURE 2
Visualisation
des fuites
au visage –
cas du masque
M2 (type masque
chirurgical).



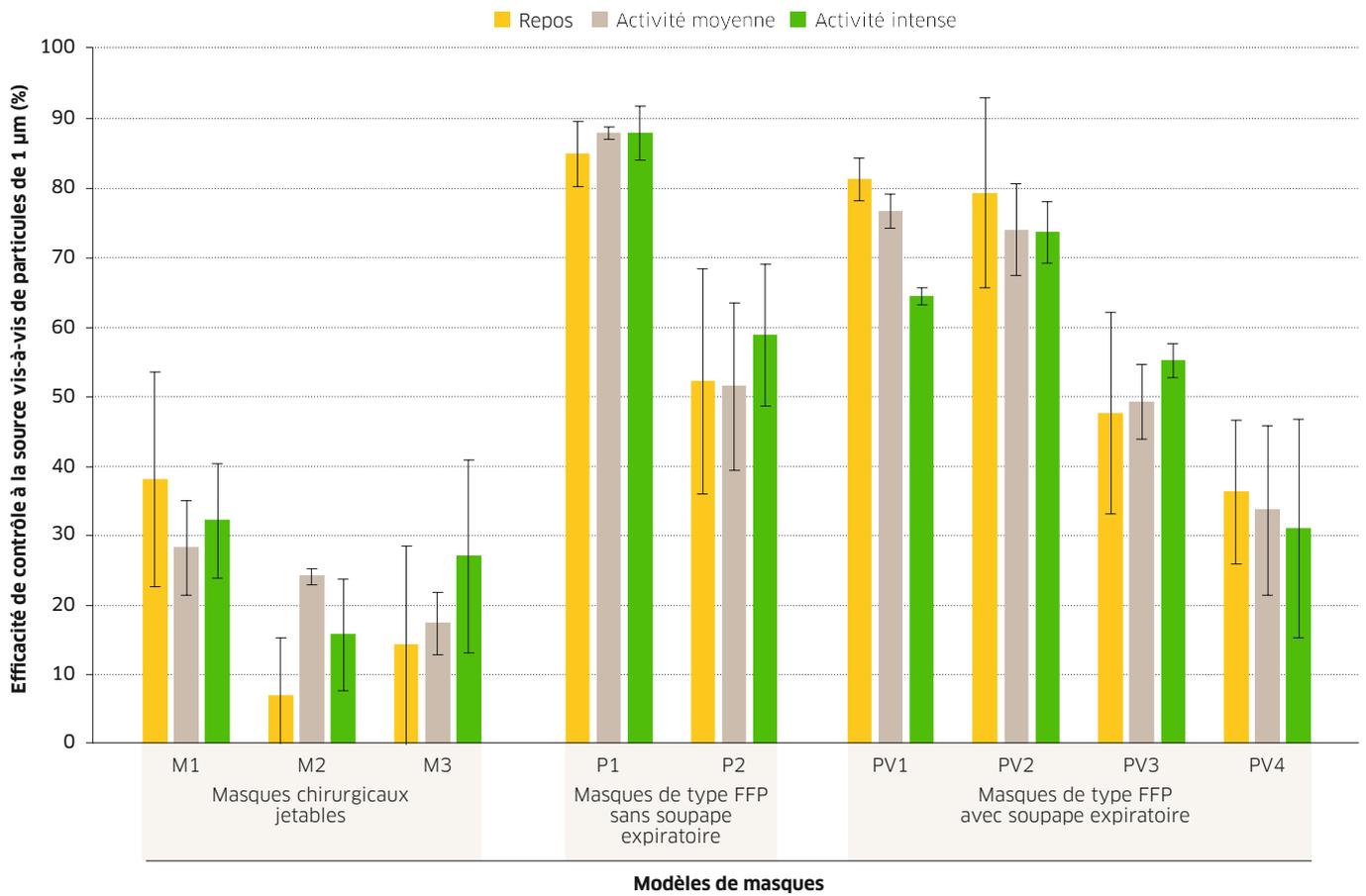
← FIGURE 3
Visualisation
des fuites
au visage –
cas du masque P2
(type FFP
sans soupape).



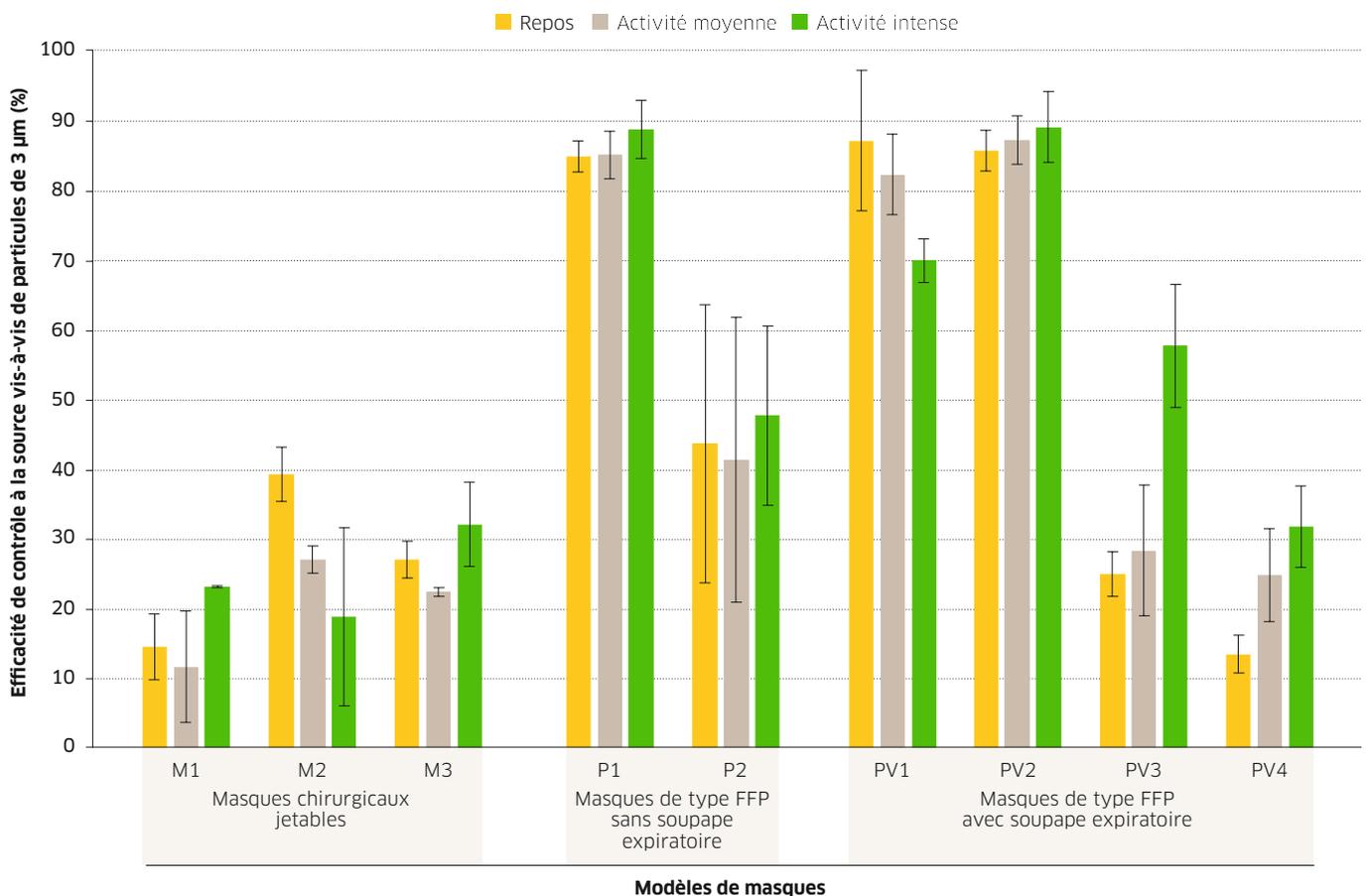
← FIGURE 4
Visualisation
des fuites
au visage –
cas du masque
Pv1 (type FFP
avec soupape).

implique que l'efficacité de filtration du matériau filtrant soit supérieure à 98 % par rapport à des particules de 3 μm circulant à une vitesse de 9,6 cm/s à travers le matériau filtrant. Pour le même type de masque, placé sur une tête, l'efficacité moyenne de contrôle à la source à 3 μm est de 21 %, pour un débit respiratoire moyen (vitesse inférieure à 2,5 cm/s). Les valeurs caractéristiques de l'efficacité, pour chaque type de masque, sont illustrées par la Figure 7 en fonction de la taille des particules et du cycle respiratoire.

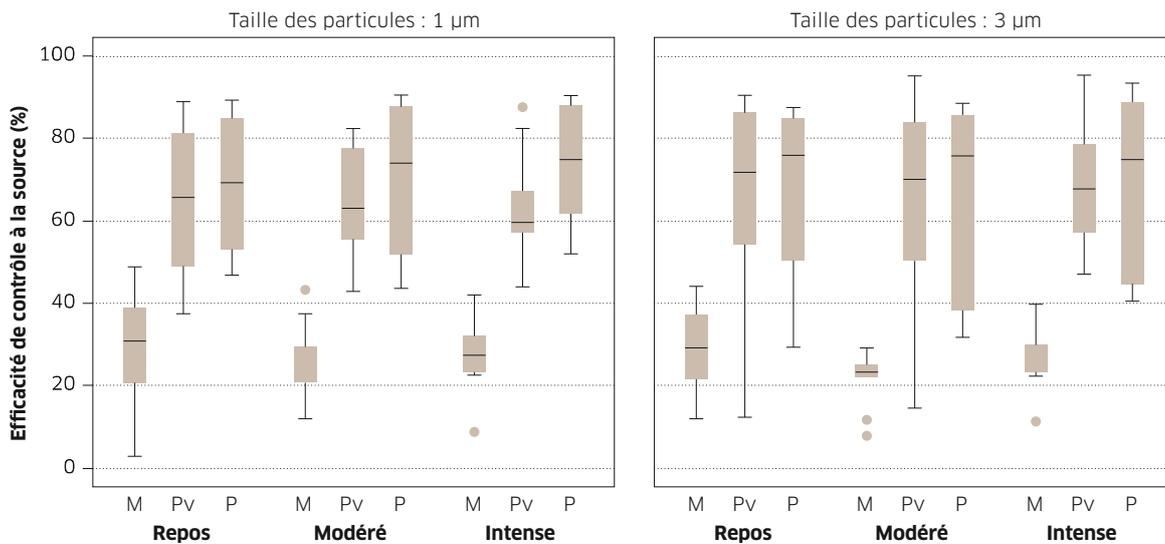




↑ FIGURE 5 Efficacité de contrôle à la source vis-à-vis de particules de granulométrie centrée sur 1 µm.



↑ FIGURE 6 Efficacité de contrôle à la source vis-à-vis de particules de granulométrie centrée sur 3 µm.



← FIGURE 7
 Comparaison
 des données
 d'efficacité
 de contrôle
 à la source
 par type de
 masque.
 M : masques
 chirurgicaux,
 Pv : masques FFP
 avec soupape,
 P : masques FFP
 sans soupape.

L'analyse statistique montre que le seul effet significatif est le type de masques. En comparant les différents types de masques entre eux, l'analyse montre que les masques chirurgicaux ont des efficacités de contrôle à la source moyennes significativement inférieures à celles des deux autres types de masques (FFP, sans et avec soupape), qui présentent la même efficacité. La taille des particules et le débit respiratoire ne sont pas des paramètres influents par rapport à l'efficacité de contrôle à la source sur les gammes testées.

Néanmoins, la variabilité des résultats d'efficacité de contrôle à la source au sein de chaque type de masque, et notamment parmi les masques de type FFP, tempère ce résultat global. Les écarts importants d'efficacité de contrôle à la source, mesurés par exemple entre le masque P1 et le masque P2 d'une part, et entre les masques Pv1 et Pv4 d'autre part, rappellent que l'efficacité d'un masque FFP est étroitement liée au bon ajustement de celui-ci. Or, pour une personne donnée, tous les modèles de masques de type FFP ne s'ajustent pas forcément



Salon de
 coiffure
 ouvert après
 une phase de
 confinement ;
 port du masque
 chirurgical.

© Claude Almodovar pour l'INRS/2020



POUR EN SAVOIR +

- INRS, ED 6392 – *Masques et prévention de la transmission de la Covid-19. Principaux usages.*
- *Foire aux questions (FAQ) « Masques » de l'INRS.* Accessibles sur : www.inrs.fr/risques/biologiques/faq-masque-protection-respiratoire.html.

bien au visage [9]. Lors du choix du masque, il est nécessaire de sélectionner le modèle de FFP adapté à chaque visage.

Conclusion

La méthode expérimentale proposée permet d'évaluer le masque comme dispositif de contrôle à la source d'une émission de particules de tailles voisines de 1 µm et de 3 µm, dans des conditions de port simulées. L'étude se limite au cas d'un port sur tête factice et n'inclut pas le cas d'une émission de grosses gouttelettes à fort débit comme lors de la toux.

Ces résultats illustrent le fait que l'efficacité de contrôle à la source d'un masque, qui inclut l'émission de particules vers l'extérieur du filtre *via* les fuites, est différente de l'efficacité de filtration du matériau filtrant qui sert à la certification du masques.

Cette campagne de mesures effectuée sur neuf modèles de masques de différents types (chirurgicaux et pièces faciales filtrantes, avec et sans soupape) a montré que les niveaux d'efficacité de contrôle à la source étaient variables d'un modèle à l'autre. Cette variabilité, au sein d'un même type de masques, s'explique par les différences concernant

la conception des masques, qui s'ajustent plus ou moins bien au visage. Sur l'ensemble des données obtenues, la présence d'une soupape expiratoire sur les masques de type FFP n'entraîne pas de dégradation significative de l'efficacité de contrôle à la source. L'efficacité de contrôle à la source des masques FFP à soupape n'est pas inférieure à celle des masques chirurgicaux.

La différence majeure est celle qui existe entre les masques chirurgicaux, qui sont des dispositifs médicaux, et les masques de type FFP, sans ou avec soupape expiratoire, qui sont des appareils de protection respiratoire et permettent donc, de par leur conception, un meilleur ajustement. Dans le cadre d'un programme de protection respiratoire, qui inclut la vérification du bon ajustement des masques, ils peuvent donc constituer une barrière efficace contre la propagation du virus. Mais ces résultats montrent aussi qu'aucun masque ne peut arrêter toutes les particules émises par son porteur. Quel que soit le type de masque, d'autres mesures barrières (ventilation, éloignement social, hygiène, etc.) restent nécessaires, dans un contexte de pandémie. ●

1. Au démarrage de l'étude (en septembre 2020), les masques FFP2 n'étaient pas disponibles sur le marché, car réservés aux personnels soignants. Deux ont été sélectionnés : un FFP2 et un N95, disponible alors sur le marché. L'objectif était d'établir une référence, à laquelle comparer les résultats obtenus sur les masques en tissu et chirurgicaux.

2. Le DEHS est un liquide formant un aérosol huileux stable, utilisé notamment dans ce type de mesures (i.e. efficacité de filtration des aérosols).

3. Il s'agit d'un écart-type géométrique, déterminé par ajustement d'une loi log-normale sur les données de granulométrie, et non pas d'un écart (incertitude) sur le diamètre. Les résultats obtenus (écarts-types géométriques proches de 1) confortent le fait que la distribution est faiblement polydispersée.

BIBLIOGRAPHIE

[1] EN 14683 + AC – *Masques à usage médical – Exigences et méthodes d'essai.* Afnor, 2019, 25 p. Accessible sur : www.afnor.org (site payant).

[2] EN 149 + A1 – *Appareils de protection respiratoire. Demi-masques filtrants contre les particules – Exigences, essais, marquage.* Afnor, 2009. Accessible sur : www.afnor.org (site payant).

[3] NIOSH 42 CFR 84 – *Approval of respiratory protective devices.* Cincinnati (Ohio), Niosh (National Institute for Occupational Safety and Health), 2004.

[4] STAYMATES M. – Flow visualization of an N95 respirator with and without an exhalation valve using schlieren imaging and light scattering. *Physics of fluids*,

2020, 32. Accessible sur : <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/5.0031996>.

[5] PORTNOFF L., ET AL. – *Filtering facepiece respirators with an exhalation valve: measurements of filtration efficiency to evaluate their potential for source control.* Department of Health and Human Services / Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (Niosh), Publication No. 2021-107. Accessible sur : <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB2021107>.

[6] ISO 8996 – *Ergonomie de l'environnement thermique – Détermination du métabolisme énergétique.* Afnor, 2005, 25 p.

[7] BALTU I. – Appareils de protection respiratoire et bioaérosols : quelle est

l'efficacité des médias filtrants ? *Hygiène & sécurité du travail*, 2010, 221, PR 46, pp. 53-61.

[8] CHAZELET S., PACAULT S. – Efficiency of community face coverings and surgical masks to limit the spread of aerosol. *Annals of work, exposures and health*, 2021, pp. 1-15. Accessible sur : <https://doi.org/10.1093/annweh/wxab089>.

[9] CHAZELET S., BAYEUX-DUNGLAS M.C., GUIMON M. – Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type Pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins. *Références en santé au travail*, mars 2021, 165, pp. 53-62. Accessible sur : www.rst-sante-travail.fr.