

Note technique

HUMIDITÉ DE L'AIR EXHALÉ : QUEL IMPACT SUR LA RESPIRABILITÉ ET L'EFFICACITÉ DES MASQUES ?

Le port du masque, notamment dans les lieux clos, fait partie des gestes barrières à appliquer dans le cadre de la pandémie de Covid-19.

De nombreuses enquêtes font état de sensations d'inconfort, dues à la chaleur et à l'humidité au sein du masque, particulièrement lors d'un port prolongé.

Une étude, menée par l'INRS et dont les résultats sont présentés dans cet article, s'est intéressée à l'évolution dans le temps de la respirabilité et de l'efficacité des masques dans des conditions de travail classiques.

AUDREY
SANTANDREA,
SANDRINE
CHAZELET
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Dans le contexte de pandémie de Covid-19, le port du masque est devenu une pratique courante sur le lieu de travail, afin de limiter les risques de propagation virale. Si l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande de changer de masque lorsque celui-ci est humide ou que des sensations d'inconfort apparaissent, on considère qu'un masque chirurgical doit être changé au moins toutes les quatre heures, tandis que cette durée peut atteindre huit heures pour un masque de type FFP [1]. L'INRS s'est interrogé sur l'impact de l'humidité de l'air exhalé sur la perte de charge opposée par les masques, sachant qu'une perte de charge élevée peut conduire à des difficultés de respiration. Il s'agit au cours de ces travaux de vérifier si une utilisation prolongée induit une augmentation de cette perte de charge et, si oui, au bout de combien de temps, ainsi que de vérifier si l'humidité du masque diminue l'efficacité de protection. Une étude, conduite en 2010 par le Niosh¹ sur trois modèles de masques (deux pièces faciales filtrantes de type N95, dont une avec soupape expiratoire, et un masque chirurgical), a permis d'évaluer l'effet de l'humidité de l'air exhalé sur la résistance respiratoire des masques testés lors d'un port de quatre heures [2]. Les résultats démontrent que la résistance respiratoire ne varie pas de manière significative dans les conditions de test, c'est-à-dire pour un débit respiratoire moyen de 40 L.min⁻¹. Les masques testés étant de type N95 américain, certifiés selon le

référentiel Niosh 42C FR84: 2004 [3], les travaux réalisés par l'INRS ont complété ces données pour des masques certifiés selon les normes européennes. L'objectif était d'évaluer la résistance respiratoire induite par plusieurs masques de type chirurgical et FFP, lors d'un port allant jusqu'à quatre heures consécutives, ainsi que l'effet de l'humidité de l'air exhalé sur l'efficacité de protection des masques de type FFP.

Masques et protocole de test

Masques étudiés

Six modèles de masques de deux types, tous de taille unique, ont été sélectionnés pour cette étude :

- trois masques chirurgicaux à usage unique, certifiés selon EN 14683+AC (notés M1 à M3) (Cf. Tableau 1) [4];
- trois masques de type FFP sans soupape, certifiés FFP2 selon EN 149+A1 (notés P1 à P3) (Cf. Tableau 2) [5].

Banc d'essai

Le banc d'essai utilisé met en œuvre une tête factice (*i-bodi*), correspondant à une tête de taille moyenne dont les dimensions sont spécifiées dans la norme NF ISO 16900-5 [6]. Cette tête est connectée à une « machine à respirer » (de type DBM-01, *i-bodi*) permettant de simuler différents cycles respiratoires sinusoïdaux, choisis pour se rapprocher d'activités humaines courantes et correspondant à des rythmes de travail léger, moyen et intense, dont les débits de





← TABLEAU 1
Photos des
masques
chirurgicaux
jetables étudiés.



← TABLEAU 2
Photos des
masques de type
FFP étudiés.

RÉSUMÉ

Dans le contexte de pandémie de Covid-19, l'INRS s'est intéressé à l'impact de l'humidité de l'air exhalé à la fois sur la respirabilité et l'efficacité des masques. Ainsi, une étude expérimentale visant à évaluer l'évolution, au cours d'un port prolongé, de la perte de charge à travers différents types de masques ainsi que leur efficacité de protection

a été conduite. Deux types de masques ont été étudiés : des masques chirurgicaux (trois modèles) et des masques de type FFP (trois modèles). Si l'étude montre que la résistance respiratoire opposée par les masques chirurgicaux est largement inférieure à celle des masques de type FFP, aucune évolution significative de ce paramètre dans le temps n'a été

observée au bout d'un port de quatre heures consécutives. Les résultats montrent également que les performances des masques de type FFP sont effectivement dépendantes du modèle de masque et du débit respiratoire, mais pas de la durée de port du masque dans les conditions testées.

HUMIDITY FROM EXHALED AIR: HOW DOES IT AFFECT BREATHABILITY AND MASK EFFICACY?

In the context of the Covid-19 pandemic, INRS investigated how the humidity contained in exhaled air affected both breathability and mask efficacy. An experimental study was undertaken to assess changes occurring over the course of prolonged use. The pressure drop through various types of mask as

well as their protective efficacy were measured. Two types of mask were studied: surgical masks (three models) and FFP masks (three models). The study results showed that the respiratory resistance presented by the surgical masks was considerably lower than that of FFP-type masks, but no significant changes to this

parameter were measured at the end of four hours' consecutive use. The results also indicated that, in the conditions tested, the performance of FFP-type masks is closely linked to the model used and the breathing rate, but not to the duration of use.

pointe sont respectivement égaux à 41 L.min⁻¹, 84 et 141 L.min⁻¹, en accord avec la norme ISO 8996 [7].

Afin de simuler les conditions de température et d'humidité de l'air exhalé, celui-ci est chauffé à 37 °C et saturé en humidité à l'aide d'un humidificateur d'air (Fisher & Paykel, modèle Healthcare MR850) disposé entre la machine à respirer et la tête factice, comme illustré en *Figure 1*. Un percement étanche est réalisé dans le milieu de la pièce faciale, face à la bouche, afin de permettre soit la mesure de perte de charge, soit celle de la concentration en particules.

Dans un premier temps, les essais ont été réalisés en posant librement le masque sur la tête factice. Les performances d'un masque étant étroitement liées à l'ajustement de celui-ci sur le visage du porteur, une pose étanche a ensuite été effectuée: une fois le masque positionné sur la tête factice, une couche de vaseline a été appliquée sur toute la surface de contact entre le masque et la tête, afin de colmater les éventuelles fuites au visage.

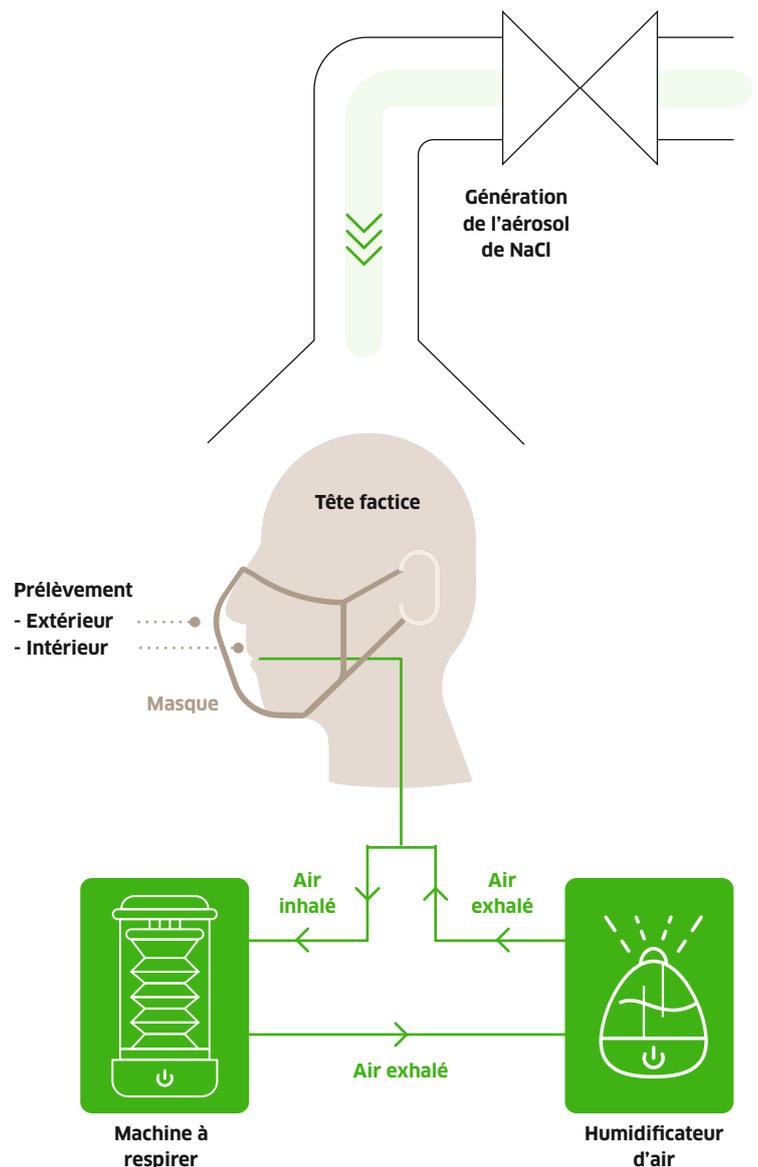
Pour chacune de ces deux poses, une caractérisation de l'atmosphère dans le masque a été réalisée en insérant un transmetteur d'humidité et de température (Vaisala, série HMT330) dans le masque. Cette insertion de la sonde à l'interface entre le visage et le masque étant susceptible de modifier l'étanchéité de la pose, cette mesure a été effectuée lors d'essais indépendants d'une durée de 15 minutes.

Mesure de la perte de charge à travers le masque

La pression relative est relevée dans le masque durant le cycle respiratoire à l'aide d'un capteur de pression (Keller, série 41X) permettant une mesure jusqu'à 0,1 bar, une augmentation de la perte de charge traduisant une résistance respiratoire plus élevée. Semblant raisonnable de considérer qu'une pause a lieu au milieu d'une journée de travail de huit heures, la durée des essais a été fixée à quatre heures pour les rythmes de travail léger et moyen, tandis qu'elle a été limitée à trente minutes dans le cas du rythme de travail intense, pour des raisons pratiques (d'autre part il semble peu probable de maintenir une activité aussi intense pendant une durée plus longue).

L'évolution de la perte de charge à travers le masque suit le cycle respiratoire, comme illustré en *Figure 2*. Cette étude se concentrant sur la résistance respiratoire maximale opposée par le masque, seules les valeurs maximales et minimales de perte de charge, correspondant respectivement aux pics de débit exhalé ou inhalé, ont été étudiées.

La pose libre du masque sur la tête pouvant influencer sur les résultats *via* la présence de fuites au visage plus ou moins importantes, trois essais ont été réalisés pour chacun des masques étudiés, avec un repositionnement systématique du masque sur la tête entre les essais. Pour chaque essai, la pression relative minimale (respectivement, maximale) est calculée pour une



période de dix minutes en moyennant les dix plus petites (resp. plus grandes) valeurs sur cette période. Pour chaque modèle de masque, la pression extrême retenue pour chaque période de dix minutes correspond alors à la moyenne des trois essais.

Mesure de l'efficacité de protection du masque

L'efficacité de protection des masques a été évaluée en générant un aérosol polydispersé de NaCl dans l'enceinte de test par nébulisation d'une solution saline. La distribution en nombre de tailles de particules de l'aérosol généré suit une loi log-normale avec une moyenne et un écart-type géométriques respectivement égaux à 40 nm et 11 nm. L'efficacité de protection de la pièce faciale filtrante est évaluée par comptage de particules au début et à la fin de l'essai. La concentration en nombre de particules est mesurée à l'extérieur du masque, dans un rayon de 30 cm autour de la bouche, ainsi qu'à l'intérieur du

↑ **FIGURE 1**
Schéma du montage expérimental. L'efficacité de protection des masques a été évaluée en générant un aérosol polydispersé de NaCl dans l'enceinte de test par nébulisation.



→ FIGURE 2
Illustration de l'évolution de la perte de charge à travers le masque au cours du temps (exemple du masque P1 – rythme respiratoire léger).



masque, également au niveau de la bouche, à l'aide d'un granulomètre Nanoscan SMPS (TSI, model 3910) sur onze canaux entre 11 nm et 205 nm. La différence entre la concentration totale à l'extérieur du masque et celle à l'intérieur permet de déterminer celle collectée par le masque. L'efficacité de protection de l'appareil de protection respiratoire (APR) est alors définie comme le rapport entre cette concentration en particules collectées et la concentration en particules à l'extérieur du masque. Il est important de noter que, les masques chirurgicaux étant des dispositifs médicaux visant à retenir les particules émises par leur porteur et n'étant donc pas des APR, cette évaluation a été effectuée uniquement sur les masques de type FFP.

Une résistance respiratoire constante

Dans un premier temps, l'étude s'est concentrée sur un rythme respiratoire correspondant à une activité légère. La température et l'humidité relative moyennes relevées dans l'enceinte de test lors des essais de quatre heures sont respectivement de 17,0 °C (entre 14,1 et 22,1 °C) et de 42,0 % (entre

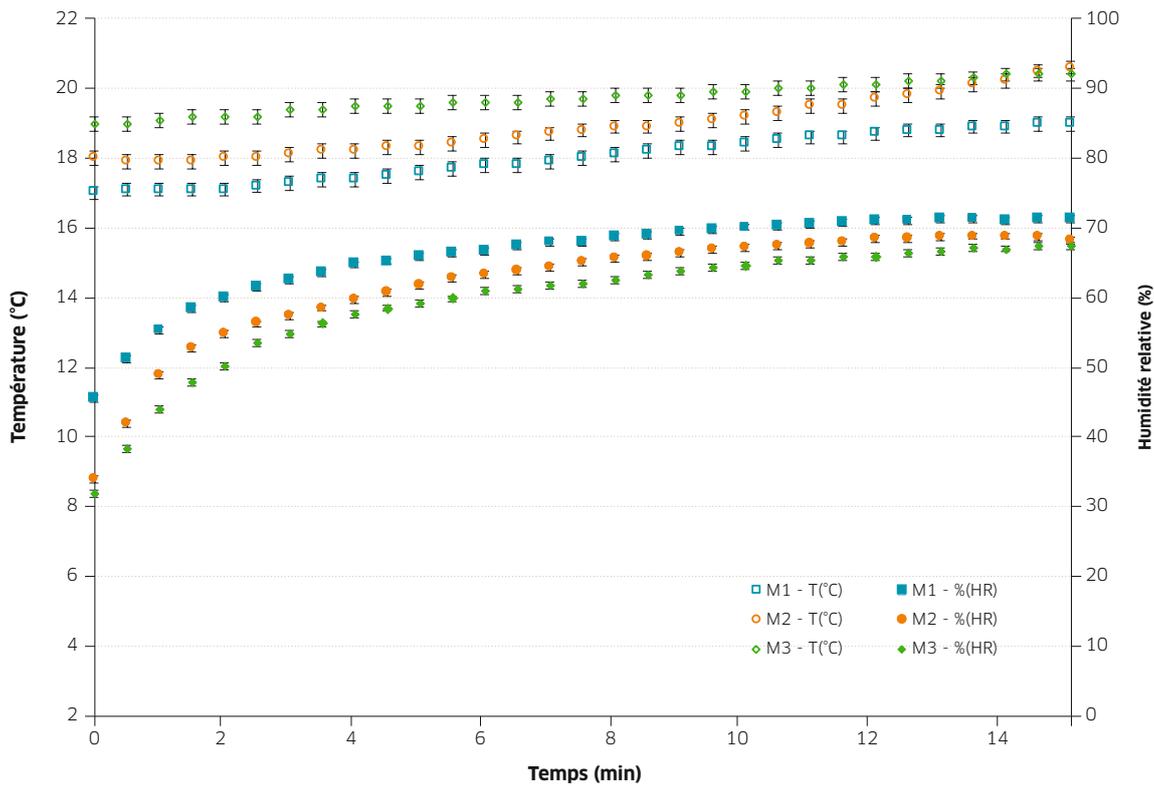
30,1 et 56,0 %). Les conditions de température et d'humidité au sein des masques chirurgicaux et de type FFP relevées lors des essais complémentaires sont présentées respectivement en *Figure 3* et en *Figure 4*. Il convient de noter que chaque courbe correspond à un unique essai. Il apparaît que la température au sein du masque croît lentement, tandis que l'humidité relative augmente très rapidement dès les premières minutes, avant de se stabiliser entre 65 % et 75 %. Cette croissance rapide suivie d'une stabilisation tend à indiquer que le régime permanent est rapidement atteint dans le masque, ce qui laisse supposer que l'effet de l'humidité de l'air exhalé sur les performances de celui-ci, notamment sur la respirabilité, à travers une mesure de perte de charge, devrait être observable rapidement.

La résistance respiratoire à l'inhalation et à l'exhalation est définie à partir de la mesure de perte de charge respectivement minimale et maximale mesurée à travers le masque. L'évolution dans le temps de cette perte de charge, mesurée pour chaque masque lors de l'inhalation, en considérant un rythme de

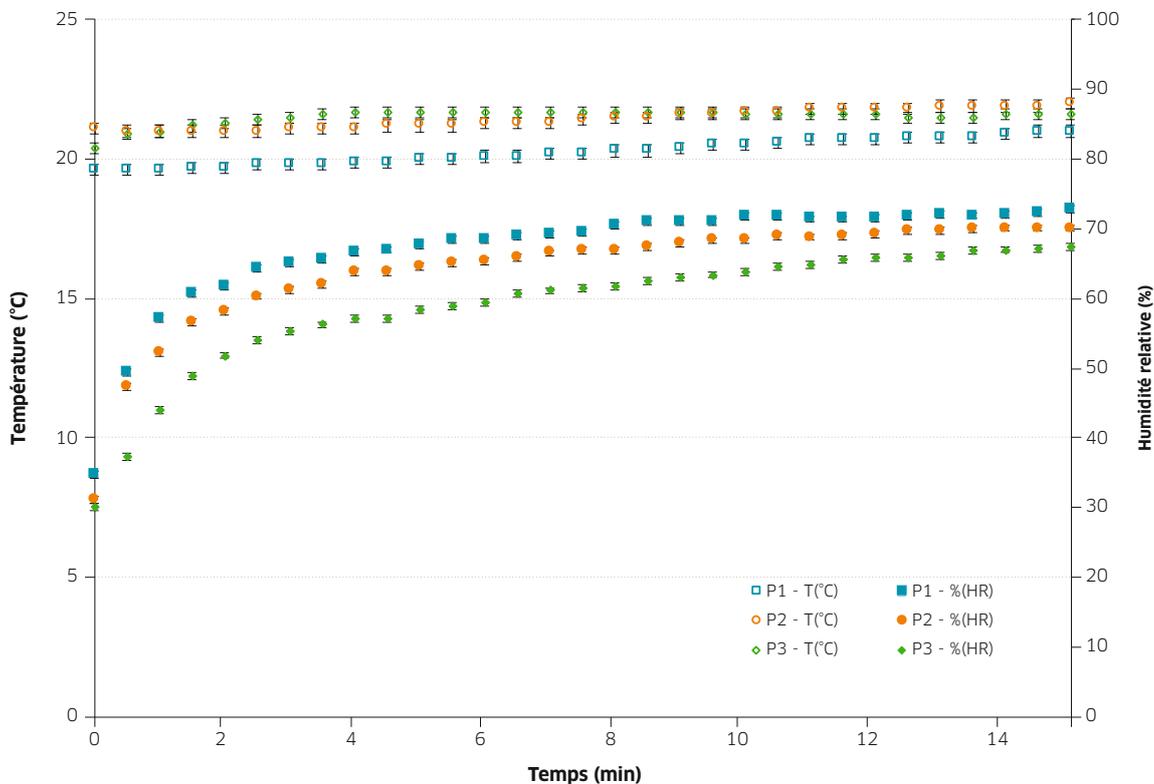
ENCADRÉ ESSAIS D'AJUSTEMENT

Lorsque la mise en œuvre de moyens de protection collective est impossible ou insuffisante pour garantir la sécurité des travailleurs, le port d'un APR peut s'imposer. Le processus de choix comporte quatre étapes, dont les trois premières consistent à analyser les paramètres liés aux polluants, au niveau de protection requis et aux conditions d'utilisation, afin de définir l'appareil adapté à la situation de travail. La dernière étape consiste à vérifier si l'appareil est également adapté à l'individu. En effet, l'efficacité de protection fournie par un APR dépend de la performance du filtre, mais également de l'étanchéité de la pièce faciale. Celle-ci doit être correctement ajustée au visage de l'opérateur afin de fournir le niveau de protection attendu.

Un modèle donné de masque ne convenant pas à toutes les morphologies de visage, la réalisation d'un essai d'ajustement est recommandée afin de vérifier l'adéquation entre le visage du porteur, d'une part, et le modèle et la taille de la pièce faciale, d'autre part. Cet essai doit être effectué lors du choix de l'APR, puis répété périodiquement ou lors d'un changement physique du porteur (amaigrissement, modification de la dentition, cicatrice, etc.). L'essai d'ajustement peut être qualitatif ou quantitatif, et peut être mis en œuvre sur le terrain. Lorsque des niveaux de protection élevés sont requis, l'essai d'ajustement quantitatif, permettant de calculer un coefficient d'ajustement propre à chaque porteur pour le modèle testé, est à privilégier.



← FIGURE 3
Évolution des conditions de température et d'humidité au sein du masque (cas des masques chirurgicaux).

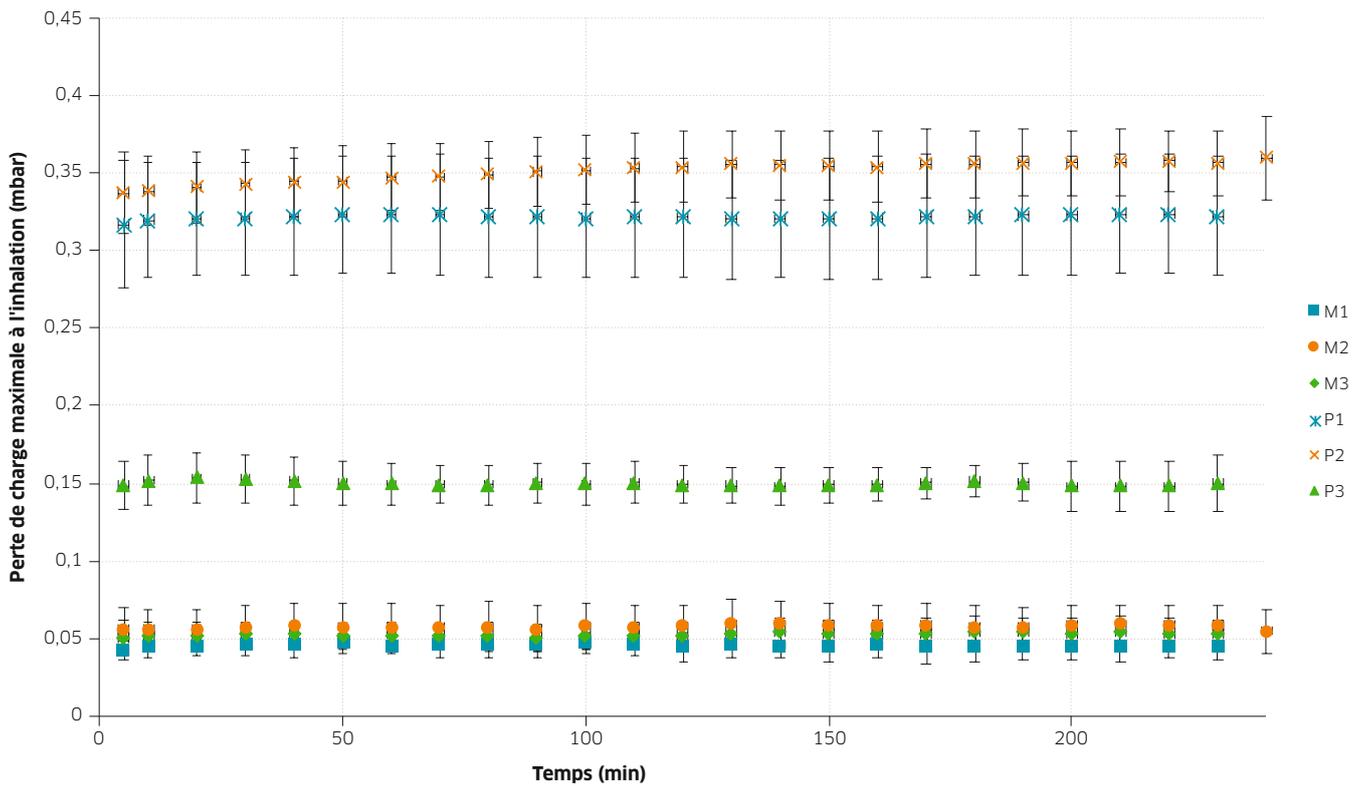


← FIGURE 4
Évolution des conditions de température et d'humidité au sein du masque (cas des masques de type FFP2).

travail léger, est présentée en Figure 5 (les barres d'erreur correspondent à l'écart-type sur les trois poses). Pour chaque modèle de masque, une très légère augmentation de la perte de charge, inférieure à 1 %, est visible lors des premières minutes, correspondant à l'établissement du régime permanent

observé précédemment. Par la suite, la perte de charge n'évolue pas de manière significative dans le temps lors d'un essai de quatre heures. En effet, l'écart maximal mesuré lors de l'essai est systématiquement inférieur à 10 %, tandis que l'incertitude de mesure moyenne est d'environ 14 %.





↑ FIGURE 5
Évolution de la perte de charge maximale à l'inhalation mesurée par modèle de masque lors d'un essai de quatre heures.
M: Masques chirurgicaux,
P: masques FFP.

Les valeurs moyennes sur quatre heures de perte de charge mesurées lors de l'inhalation et de l'exhalation sont présentées en Figure 6 (les barres d'erreur correspondent à l'écart-type sur les trois poses). La résistance respiratoire la plus élevée a été rencontrée avec les masques de type FFP notés P1 et P2, pour lesquels les pertes de charge maximales moyennes sont respectivement de 0,32 mbar et de 0,35 mbar. Le troisième masque de type FFP, noté P3, présente une résistance respiratoire plus faible, avec une valeur moyenne de 0,15 mbar à l'inhalation, tandis que les trois masques chirurgicaux montrent des pertes de charge à l'inhalation comprises entre 0,046 mbar et 0,058 mbar. Ces différences s'expliquent, d'une part, par la différence de matériaux filtrants et, d'autre part, par la présence de fuites au visage, très importantes dans le cas des masques chirurgicaux, tandis qu'au contraire les masques de type FFP, notamment les masques P1 et P2, s'ajustent bien au visage et présentent une faible fuite vers l'intérieur.

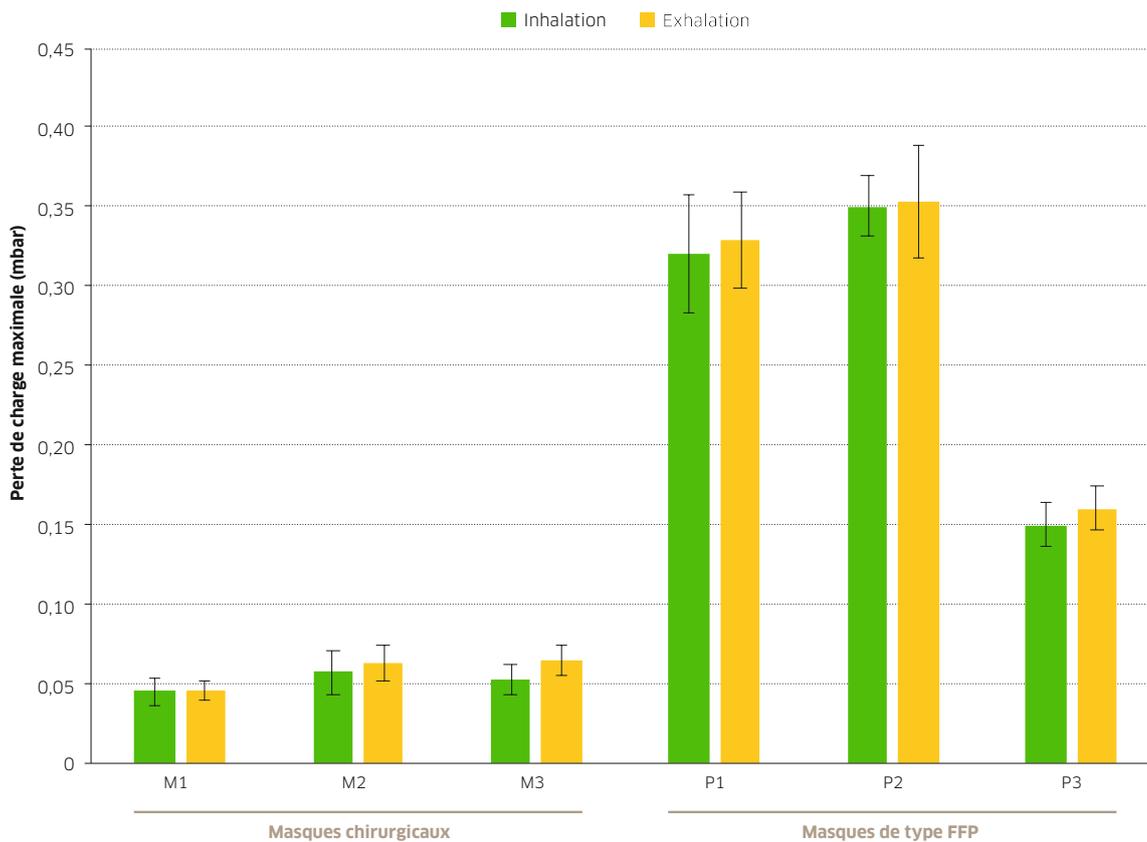
Les résultats obtenus tendent ainsi à montrer que la résistance respiratoire causée par les différents masques étudiés n'est pas significativement influencée par l'humidité de l'air exhalé pour un rythme de travail léger, mais plutôt par le type (chirurgical ou FFP) et le modèle de masque.

Pose étanche et variation de rythme respiratoire

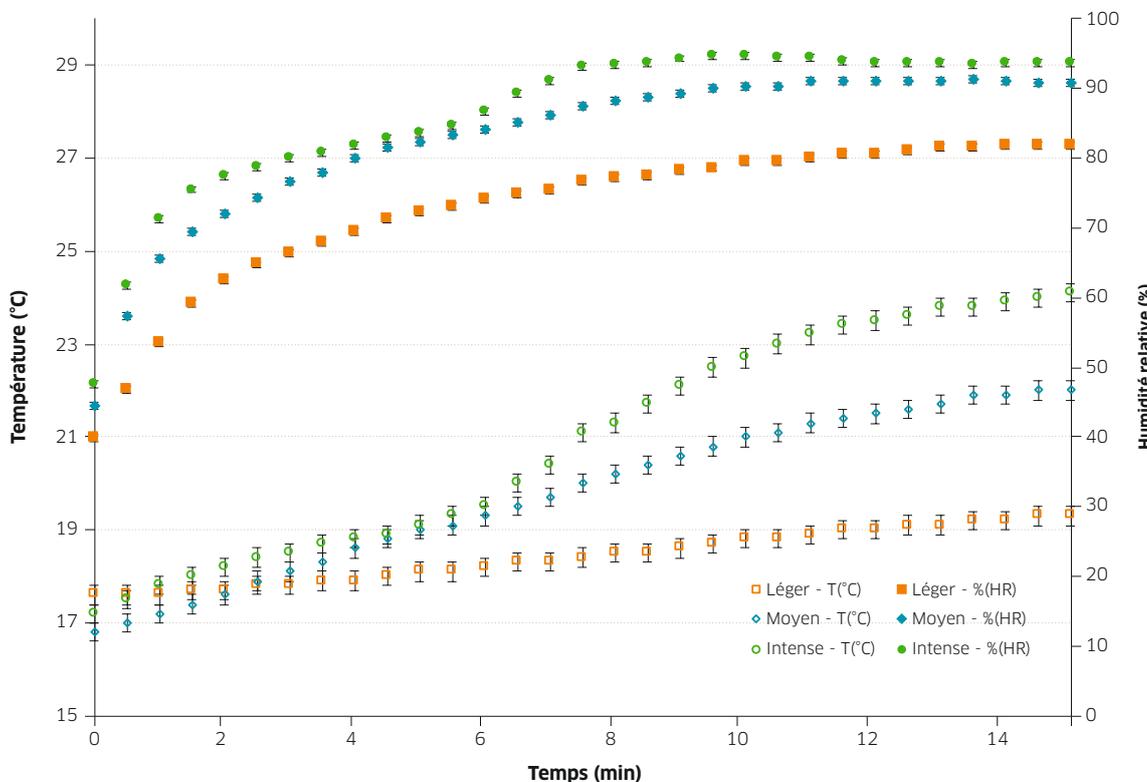
La perte de charge mesurée lors des essais précédents dépend de la résistance respiratoire du matériau



© Gaël Kerbaol/INRS/2022



← **FIGURE 6**
Perte de charge maximale à l'inhalation et à l'exhalation par type de masque (moyenne sur quatre heures de port simulé).

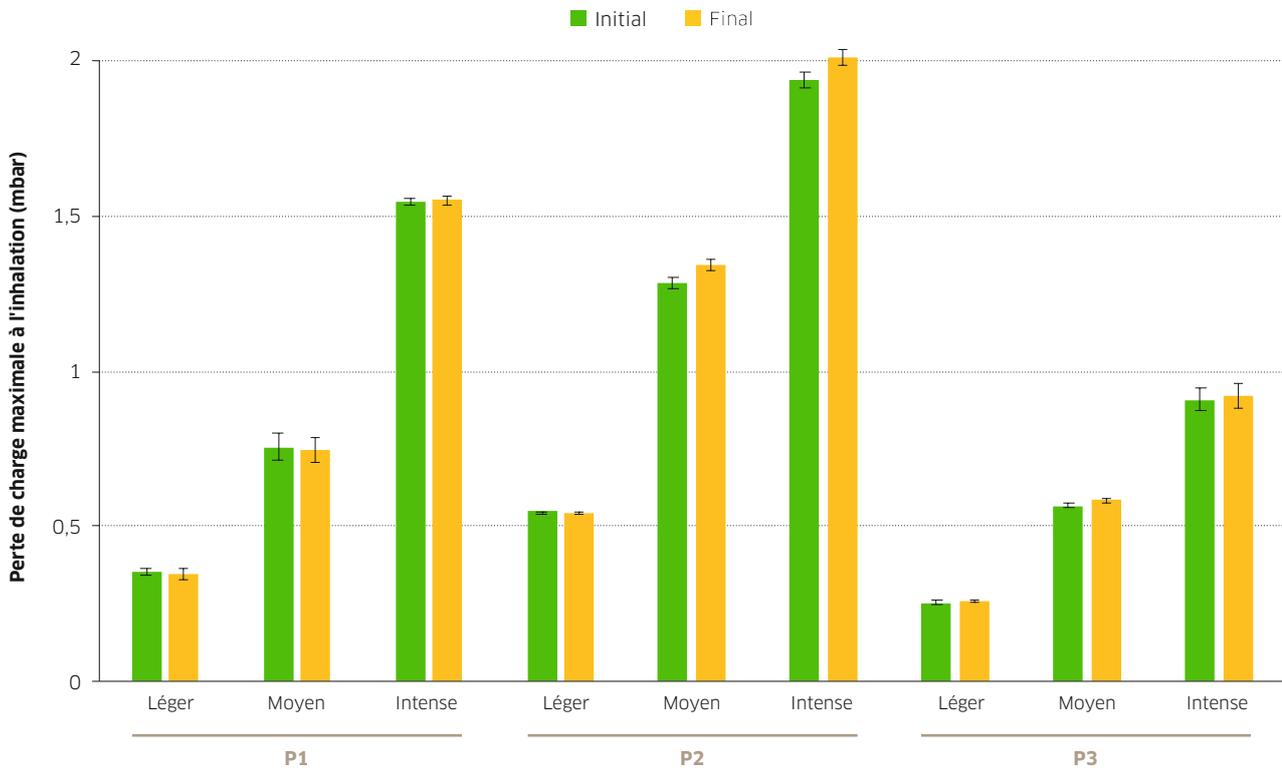


← **FIGURE 7**
Conditions de température et d'humidité au sein du masque pour les trois rythmes respiratoires (exemple du masque P3 - fuites colmatées).

filtrant, mais également des fuites au visage, directement liées à l'ajustement du masque. L'air pouvant s'infiltrer par ces fuites, leur présence mène à une sous-estimation de la résistance respiratoire

du masque. Afin de s'affranchir de l'influence de la pose du masque et de mesurer la perte de charge réellement opposée par le matériau filtrant, les essais suivants ont été réalisés en pose étanche sur les





↑ FIGURE 8 Perte de charge maximale à l'inhalation par type de masque lors d'un port simulé de quatre heures (rythmes respiratoires léger et moyen) et de trente minutes (rythme respiratoire intense) (masques de type FFP – fuites colmatées).

↓ TABLEAU 3 Comparaison des pertes de charge maximales moyennes mesurées à l'inhalation pour les différents masques à celle autorisée par la norme EN 149+A1.

| | RYTHME RESPIRATOIRE LÉGER (41 L.min ⁻¹) | RYTHME RESPIRATOIRE MOYEN (84 L.min ⁻¹) | RYTHME RESPIRATOIRE INTENSE (141 L.min ⁻¹) |
|------------------------------|---|---|--|
| Norme EN 149 + A1 [5] | 0,99 | 2,12 | 3,61 |
| P1 | 0,35 ± 0,01 | 0,75 ± 0,04 | 1,55 ± 0,01 |
| P2 | 0,55 ± 0,01 | 1,31 ± 0,02 | 1,97 ± 0,02 |
| P3 | 0,26 ± 0,01 | 0,57 ± 0,01 | 0,92 ± 0,01 |

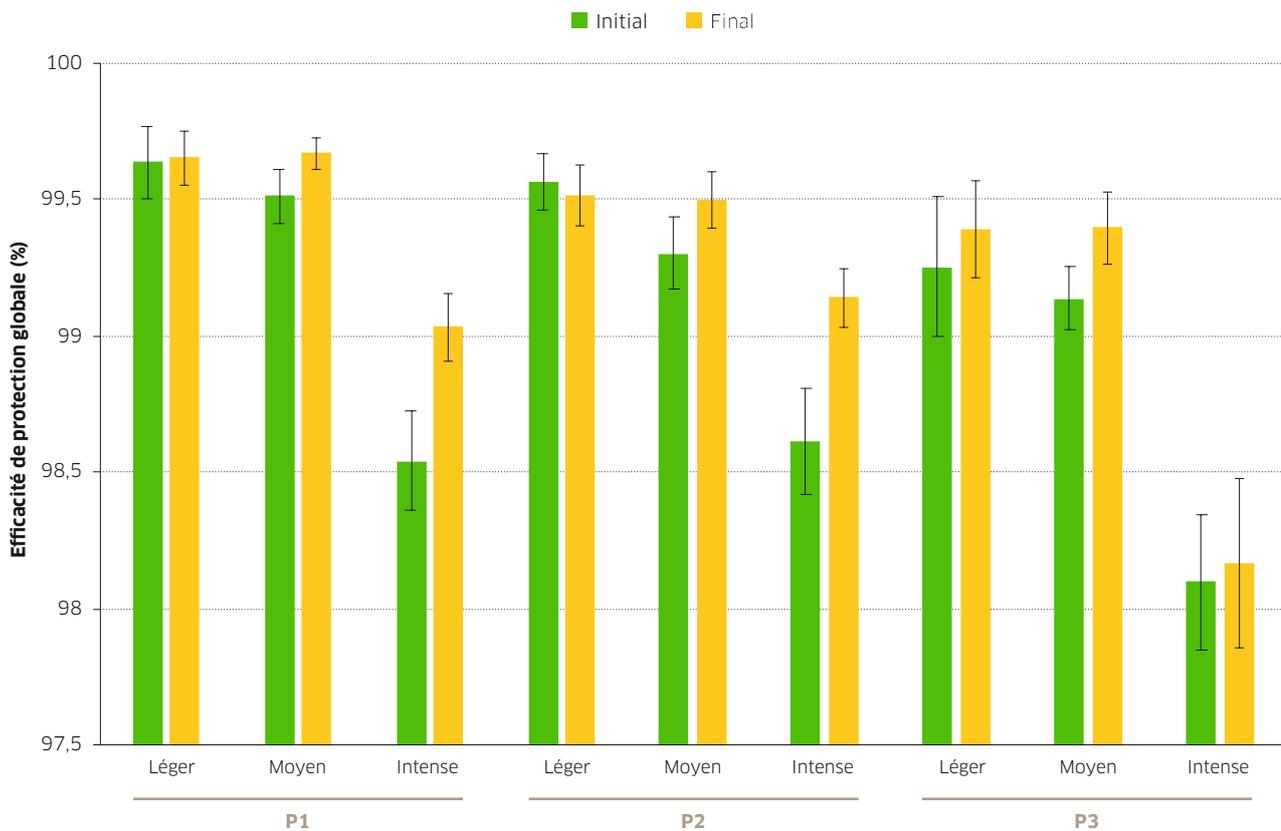
trois masques de type FFP, de la même manière que précédemment, pour des rythmes de travail léger, moyen et intense.

Les conditions de température et d'humidité au sein des masques ont été évaluées de la même manière que précédemment. L'évolution étant similaire pour les trois masques de type FFP étudiés et par souci de lisibilité, seules les valeurs mesurées au sein du masque P3 sont représentées en Figure 7 pour les trois rythmes respiratoires étudiés. Il apparaît qu'un débit respiratoire plus important entraîne davantage d'air humide et chaud, ce qui se traduit par une évolution plus marquée de la température et de l'humidité relative dans le masque au cours de l'essai. Ainsi, la température varie de 17,4 ± 0,2 °C à 19,3 ± 0,1 °C pour un rythme respiratoire léger, tandis qu'elle atteint 24,1 ± 0,1 °C pour un rythme respiratoire intense. De plus, l'humidité relative atteint 81,9 ± 0,5 % pour un débit respiratoire léger, tandis qu'une valeur de 94,6 ± 0,5 % est atteinte pour un

débit respiratoire élevé. Ces valeurs reflètent les sensations d'inconfort parfois ressenties lors du port d'un masque bien ajusté au visage, plus particulièrement lors d'activités intenses.

Concernant la perte de charge, pour chaque masque et chaque débit respiratoire imposé, aucune évolution significative dans le temps n'a été observée, avec un écart maximal systématiquement inférieur à 7 %. Les valeurs moyennes de perte de charge mesurées pour les différents modèles de masques lors de l'inhalation sont présentées en Figure 8 pour les trois rythmes de travail étudiés.

Il apparaît que pour des activités d'intensité légère et moyenne, la résistance respiratoire opposée par les différents masques n'est pas ou peu affectée par l'humidité de l'air exhalé, avec un écart systématiquement inférieur à 5 % entre le début et la fin de l'essai. La norme EN 149+A1 impose une perte de charge maximale à l'inspiration inférieure à 0,6 mbar et 2,1 mbar, pour des débits respectifs de 30 L.min⁻¹ et 95 L.min⁻¹. À partir de ces données, la perte de charge maximale autorisée pour les débits de pointe de cette étude a été calculée en considérant une relation linéaire entre la perte de charge et le débit imposé. Comme présenté dans le Tableau 3, la perte de charge maximale mesurée à l'inspiration avec un air exhalé humide est, pour les trois modèles de masques, largement inférieure à celle autorisée par la norme EN 149+A1, ce qui implique que ces masques y sont bien conformes en matière de respirabilité.



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2022

Ainsi, dans les conditions de température et d'humidité de cette étude, c'est-à-dire dans des conditions classiquement rencontrées sur des lieux de travail, l'humidité de l'air exhalé n'influe pas de manière significative sur la respirabilité des masques étudiés lors d'un port de quatre heures consécutives pour des rythmes de travail léger et moyen, et de trente minutes pour un rythme intense.

Une efficacité de protection intacte

La norme EN 149 [5]² impose, pour les masques de type FFP2, une efficacité du matériau filtrant supérieure à 94 % pour un aérosol inerte de diamètre en nombre compris entre 0,06 µm et 0,10 µm à un débit de filtration de 95 L.min⁻¹, réparti sur la surface du masque. Les fuites au visage étant colmatées, l'efficacité de protection des APR mesurée dans cette étude peut être assimilée à celle du matériau filtrant les constituant. Bien que l'aérosol généré soit composé de particules plus fines (granulométrie centrée sur 40 nm) que celles mentionnées dans la norme et que la vitesse de filtration soit différente, il apparaît en *Figure 9* que l'efficacité de filtration des différents masques est supérieure à 98 % pour les trois rythmes respiratoires, démontrant une bonne protection de ces masques vis-à-vis de particules fines. Pour les trois modèles de masques, une légère diminution de l'efficacité globale, inférieure ou égale à 1 %, est observée en passant du rythme respiratoire léger à intense. Cette variation est due à une diminution

↑ **FIGURE 9** Efficacité de protection globale vis-à-vis d'un aérosol de granulométrie centrée sur 40 nm lors d'un port simulé de quatre heures (rythmes respiratoires léger et moyen) et de trente minutes (rythme respiratoire intense) (masques de type FFP – fuites colmatées).



de l'efficacité de filtration avec l'augmentation du débit. De plus, pour un même débit, l'efficacité de protection finale est soit inchangée, soit légèrement plus importante que l'efficacité initiale. Cette augmentation, atteignant 0,5 % pour les masques P1 et P2 lors d'une activité intense, est en accord avec la légère augmentation de perte de charge observée précédemment en *Figure 8* qui traduit un possible colmatage du média filtrant. Les valeurs observées permettent ainsi de conclure que, lors d'un port prolongé, l'efficacité de protection des masques de type FFP étudiés n'est pas significativement altérée par l'humidité de l'air exhalé.

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de l'humidité de l'air exhalé à la fois sur la respirabilité des masques, mais également sur l'efficacité de protection fournie par ceux-ci. L'étude se limite au cas d'un port sur tête factice et considère uniquement l'humidité générée par l'air exhalé, sans inclure l'émission de gouttelettes, comme lors d'une toux ou d'un éternuement.

Cette campagne de mesures a été effectuée sur six modèles de masques: trois masques chirurgicaux et trois masques de type FFP. Pour un débit donné, la résistance respiratoire opposée par les différents masques est essentiellement dépendante du type et du modèle de masque. Les différences observées s'expliquent à la fois par l'emploi de différents matériaux filtrants et par l'étanchéité au visage plus ou moins bonne selon le modèle. S'il a été démontré que les masques chirurgicaux opposent une résistance à la respiration plus faible que les masques de type FFP, aucune évolution dans le temps de cette résistance n'a pu être mise en évidence lors d'un port prolongé allant jusqu'à quatre heures.

Afin de s'affranchir de l'influence des fuites au visage, celles-ci ont été colmatées lors d'essais

complémentaires sur les masques de type FFP, et trois débits respiratoires correspondant à des activités d'intensité légère, moyenne et intense ont été simulés. Pour les trois masques, l'augmentation du débit respiratoire conduit à une augmentation de la perte de charge à travers le masque, ainsi qu'à une faible diminution de son efficacité. Cependant, la perte de charge mesurée reste inférieure à celle recommandée par la norme EN 149+A1:2009, confirmant la bonne conformité des masques étudiés, et l'efficacité de protection mesurée reste supérieure à 98 %, démontrant une bonne protection respiratoire vis-à-vis de particules fines. Une nouvelle fois, aucune évolution significative de la perte de charge à travers le masque ni de l'efficacité de protection au cours d'un port prolongé n'a pu être mise en évidence. Ainsi, l'humidité de l'air exhalé n'influe pas de manière significative sur la résistance respiratoire des masques, ni sur l'efficacité des masques de type FFP, lors d'un port de trente minutes à quatre heures selon le rythme respiratoire simulé, à condition que le masque soit correctement ajusté et adapté au porteur. Il convient néanmoins de rappeler que l'efficacité d'un masque est liée à son bon ajustement, et qu'un modèle de masque donné ne s'ajuste pas forcément à tous les visages. Il est donc nécessaire, lors du choix du masque, de sélectionner un modèle adapté à la morphologie de chacun. ●

1. National Institute for Occupational Safety and Health : Institut national pour la santé et la sécurité au travail, États-Unis (Cincinnati, Ohio).

2. La norme d'essais correspondante est la EN 13274-7 [8].

POUR EN SAVOIR +

• **Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement.** INRS, 2021, ED 6273. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206273.

BIBLIOGRAPHIE

[1] **FOIRE AUX QUESTIONS – Masques de protection respiratoire et risques biologiques.** Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/biologiques/faq-masque-protection-respiratoire.html>.

[2] **ROBERGE R.J., BAYER E., POWELL J.B. ET AL. –** Effect of exhaled moisture on breathing resistance of N95 filtering facepiece respirators. *Annals of occupational hygiene*, 2010, 54 (6), pp. 671-677.

[3] **RÉFÉRENTIEL NIOSH 42 CFR 84 – Approval of respiratory protective devices.** The National Institute for Occupational Safety and Health, 2004. Accessible sur : <https://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/pt84abs2.html>.

[4] **NORME EN 14683 + AC – Masques à usage médical.** Exigences et méthodes d'essai. Afnor, 2019.

[5] **NORME EN 149 + A1 – Appareils de protection respiratoire.** Demi-masques filtrants contre les particules. Exigences, essais, marquage. Afnor, 2009.

[6] **NORME ISO 16900-5 – Appareils de protection respiratoire.** Méthodes d'essai et équipement d'essai. Partie 5 : Machine respiratoire, simulateur métabolique, têtes factices et torses APR, outils et outils de vérification. Afnor, 2017.

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

[8] **NORME EN 13274-7 – Appareils de protection respiratoire.** Méthodes d'essai. Partie 7 : Détermination de la pénétration des filtres à particules. Afnor, 2019, 13 p.

NORMES : accessibles sur : www.boutique-afnor.org (site payant).