



Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID-19. The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect, the company's public news and information website.

Elsevier hereby grants permission to make all its COVID-19-related research that is available on the COVID-19 resource centre - including this research content - immediately available in PubMed Central and other publicly funded repositories, such as the WHO COVID database with rights for unrestricted research re-use and analyses in any form or by any means with acknowledgement of the original source. These permissions are granted for free by Elsevier for as long as the COVID-19 resource centre remains active.

Contribution à l'étude de l'efficacité et de l'entretien des masques de protection respiratoire COVID en tissu fait maison

Contribution to the study of the effectiveness and maintenance of homemade COVID fabric respirators

Jan-Cédric Hansen (Chargé de mission)^a
Guy Planchette (Président d'honneur)^b
Jean-Marc Cavedon (Vice-Président,
chef de projet MasKaDom)^b
Henri Julien (Président)^a

^aSociété française de médecine de catastrophe, 1,
place Alphonse-Laveran, 75230 Paris cedex 05,
France

^bInstitut pour la maîtrise des risques, 28, avenue du
Président-Wilson, Campus ESTP, 94234 Cachan,
France

RÉSUMÉ

Le port du masque est devenu obligatoire pour le public dès la sortie de leur domicile. Aussi et souvent pour des raisons socioéconomiques, la fabrication artisanale en tissu est autorisée. Toutefois, autour de cette obligation à porter un masque, il existe actuellement de nombreuses carences en ce qui concerne les connaissances en matière de processus de confection et d'entretien de ces masques. Face à ces nombreuses incertitudes, la Société française de médecine de catastrophes a confié à l'Institut pour la maîtrise des risques (IMdR) le soin de conduire scientifiquement le projet de caractérisation de critères de performance de ces masques pouvant être confectionnés à domicile : choix de la forme adaptée (design) et de types de tissus, respirabilité, microbiologie, colmatage, congruence, fit-test, lavage, usage, entretien, rangement, etc. L'objectif visé est de renforcer la confiance du public quant à leur sentiment de protection par ce type de masque contre la COVID-19 grâce à la constitution d'une méthodologie d'évaluation pertinente, rigoureuse et reproductible.

© 2021 Société Française de Médecine de Catastrophe. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

SUMMARY

Wearing a mask has become compulsory for the public as soon as they leave their home. Also and often for socio-economic reasons, homemade fabric manufacturing is allowed. However, around this obligation to wear a mask, there are currently many knowledge-gaps about the production and servicing processes of these masks. Confronted by these numerous uncertainties, the French society of Disaster Medicine has entrusted the Institute for Risk Management with the scientific leadership of a project to address those gaps. It will consist in characterizing the performance criteria of these masks that can be produced at home: appropriate choices of shape, i.e., designs, and types of fabrics, breathability, microbiology, clogging, congruence, fit test, washing process, use, servicing, storage, etc. The objective is to strengthen public confidence in their feeling of protection by this type of mask against COVID-19 through the development of a relevant, rigorous and replicable evaluation methodology.

© 2021 Société Française de Médecine de Catastrophe. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

MOTS CLÉS

Masque en tissu
Filtration
Respirabilité
Microbiologie
Lavage

KEYWORDS

*Cloth mask
Filtration
Breathability
Microbiology
Washing*

Auteur correspondant :

J.-C. Hansen,
Société française de médecine de
catastrophe, 1, place Alphonse-
Laveran, 75230 Paris cedex 05,
France.
Adresse e-mail :
jc.hansen@icloud.com

INTRODUCTION

À la fin de l'année 2019, un nouveau coronavirus nommé SRAS-CoV-2 est détecté. Le 11 mars 2020, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) décrète ce virus comme responsable d'une pandémie dénommée COVID-19 [1].

La voie de transmission aérienne du SRAS-CoV-2 est importante pour la propagation du COVID-19 [2]. À l'heure actuelle, il n'existe pas de charge virale contaminante-seuil pour les aérosols ni de dose infectieuse minimale pour provoquer une infection [3]. Cependant, il convient de garder à l'esprit qu'on émet de 10 000 à 100 000 gouttelettes lors d'une toux ou d'un éternuement (87 % d'entre elles font moins de 1 μm et moins de 0,1 % font plus de 5 μm) [4].

À la date du 6 avril 2021, la pandémie COVID-19 a touché plus de 132 millions de personnes dans le monde, dont 44 millions en Europe (4,84 en France) et 45 millions en Afrique.

L'un des défis de la lutte contre cette pandémie consiste à limiter la transmission du SRAS-CoV-2 par des personnes asymptomatiques ou présymptomatiques [5]. Une revue systématique de la littérature couplée à une méta-analyse confirme que le fait de porter un masque diminuait le risque d'infection par voie aérienne [6]. De même, il est établi que les masques réduisent significativement la détection de l'ARN du coronavirus dans les aérosols émis [7]. Bien plus, le port du masque par des personnes asymptomatiques réduit incontestablement la transmission [8]. Enfin, une analyse systémique précise que le port obligatoire du masque représente le principal déterminant pouvant influencer l'évolution de la pandémie [9].

Si au début de cette pandémie, les recommandations pour le public de porter un masque-barrière ont pu être perçues comme contradictoires, il est maintenant bien établi que le port du masque limite considérablement la propagation du virus.

Dans ce contexte, la disponibilité permanente d'un masque fiable, aux propriétés adéquates est un élément clé de la lutte contre la pandémie. Si ce point stratégique ne fait pas débat, sa déclinaison opérationnelle peut prendre deux voies non exclusives l'une de l'autre :

- approvisionnement de masques normés de type FFP2 ou chirurgical auprès des industriels ;
- confection artisanale ou « fait maison » de masques en tissus.

Toutefois, si les masques FFP2 et chirurgicaux apportent des garanties réglementaires quant à la protection des personnels soignants, les masques en tissu de fabrication artisanale ne font l'objet d'aucune contrainte dès lors qu'ils sont « fait maison », même si, lorsqu'ils sont destinés au commerce, ils restent soumis à une réglementation stricte (perméabilité, respirabilité) quant aux propriétés du tissu utilisé pour leur confection.

De plus, ces masques en tissu de fabrication artisanale, du fait de leurs coûts, amènent les familles précarisées sur le plan financier à rencontrer des difficultés à s'approvisionner et les amènent à confectionner leurs propres masques. Ceci peut être dû aux restrictions d'activité économique ou à la fragilité intrinsèque socioéconomique des pays en voie de développement. Cette situation vulnérabilise d'autant plus ce public qu'il est inconscient des risques qu'il prend en étant convaincu que « tout ce qui ressemble à un masque protège comme un masque », s'exposant ainsi véritablement au danger.

C'est dans ce contexte que de nombreux tutoriels pour la fabrication de masques à domicile ont fleuri sur les réseaux

sociaux, chaque présentateur proposant sa solution, sa combinaison de tissus et de design de masque, sans avoir aucune garantie sur les protections individuelles réellement apportées par ces multiples modèles.

La situation de pandémie à laquelle nous devons faire face étant de nature fort complexe, ce serait un leurre de croire, dans le cas des masques, que son pilotage soit possible en ne puisant que dans la seule dimension de la réglementation pour garantir une fonction barrière adéquate. Or, dans cette situation d'incertitude et de désorganisation inédite créée par la COVID-19, la doctrine, imprégnée de forte charge émotionnelle, devient prépondérante sur les connaissances scientifiques. De ce fait, elle implique d'associer l'ensemble des parties prenantes afin de partager les mêmes finalités, valeurs, données, règles et modèles, représentant les cinq qualificatifs prônés par les sciences du danger (les cindyniques). Il paraît donc salutaire de placer l'humain et l'organisation au cœur de cette situation complexe, dans le but de dépasser les seules approches techniques et réglementaires et d'explorer toutes les autres catégories de sources de risques relevant des aspects humains, organisationnels, managériaux, culturels et environnementaux.

Partant de ce constat, la Société française de médecine de catastrophe (SFMC), a confié à l'Institut de la maîtrise des risques (IMdR), spécialiste dans le domaine des cindyniques, le pilotage d'un projet de confection de masques à domicile (MaskaDom) [10]. En effet, grâce à son expérience, cet institut a appris que des sources de risques insoupçonnées peuvent être créées par notre culture, nos insuffisances en matière de données, de modèles et par l'absence de partage de valeurs, et de finalités.

L'IMdR a donc abordé le projet en développant d'abord une démarche cindynique. Celle-ci a mis en lumière le fait qu'autour de la demande du port de masque, de ses processus de confection et d'entretien, il existait de nombreuses carences en matière de connaissances et de pilotage de la gestion de ces types de risques.

En questionnant les cinq qualificatifs de l'exploration cindynique, de nouvelles insuffisances ont pu être identifiées. Les résultats obtenus ont montré que bien d'autres besoins seraient nécessaires pour améliorer l'efficacité des masques artisanaux ou « fait maison » dans plusieurs domaines : choix de la forme adaptée (design), types de tissus, microbiologie, colmatage, congruence, fit-test, lavage et cycles de lavage, usage, entretien, rangement, etc. Il est alors apparu indispensable :

- de s'interroger sur la validité du modèle conceptuel de la transmission du SARS-CoV-2. En effet, le diamètre du COVID-19 est estimé à une valeur comprise entre 0,06 et 0,14 μm [11]. On pourrait donc croire qu'il reste en suspension. Cependant, il n'en est rien car il est, pour l'essentiel, transporté par une particule (gouttelette > 10 μm ou un aérosol < 5 μm) ;
- d'élargir la typologie des tests, compte tenu des insuffisances déjà mentionnées ;
- de diffuser des tutoriels efficaces pour la fabrication des masques artisanaux ou « fait maison » à destination du grand public ;
- de s'employer à avoir une communication adaptée permettant de clarifier la vulnérabilité actuelle et de la corriger par une approche scientifique basée sur des preuves.

C'est donc sur ce plan d'actions que repose l'élaboration scientifique du projet MaskaDom.

ÉVALUATION DES MASQUES

Il est difficile de déterminer exactement quand les masques faciaux ont été utilisés pour la première fois pour aider à contrôler les infections nosocomiales au bloc opératoire. En 1897, Johann von Mikulicz Radecki a décrit un masque chirurgical composé d'une couche de gaze (tissu très fin et très léger, de coton, de soie ou de lin, à l'aspect presque transparent, dont les fils de trame sont fortement liés à la chaîne) [12]. La même année, Carl Georg Friedrich Wilhelm Flügge (Pflügge) démontrait que les conversations ordinaires pouvaient disséminer des gouttelettes chargées de germes pathogènes provenant du nez et de la bouche, justifiant ainsi la nécessité d'un masque facial efficace [13]. Ces constatations étaient intégrées par les praticiens français dès 1899 [14].

En 1918, les premières études expérimentales étaient publiées sur le sujet et confirmaient l'intérêt protecteur du masque pour le patient et les soignants [15]. La première étude retrouvée dans la littérature semble être datée de 1920 [16]. Elle essayait de repérer l'influence du nombre de couche/pliage de la gaze utilisée pour les compresses dans le but de construire un masque. Elle pointait l'influence du nombre de couches et la finesse des mailles de la compresse utilisée et constatait que la respiration devenait difficile en même temps que des fuites se produisaient autour du bord du masque lorsque le nombre de couches apportait une filtration efficace. Cette étude montrait que les masques en compresse tissée n'apportaient pas une protection supérieure à 50 %.

En 1934, la question du masque « adéquat » était posée de manière scientifique et systémique. Ainsi pouvait-on lire dans l'article qui en rendait compte : « Par masquage adéquat, on entend la protection du patient par des masques appropriés contre les organismes qui peuvent provenir de la bouche ou du nez de l'opérateur ou de tout membre de l'équipe d'intervention. Un masquage adéquat peut également protéger l'opérateur contre les organismes virulents expulsés des voies respiratoires du patient, en particulier lors d'opérations du nez, des lèvres, de la bouche et de la gorge. » [17].

Une étude, conduite en 1975 et portant sur l'influence de la conception des masques sur leur capacité filtrante, démontrait déjà qu'il y avait une différence significative d'efficacité entre les masques contenant plus de tissus, plus souples et plissés par rapport à ceux plus rigides, plus petits et non plissés. Les masques réutilisables en tissu de coton, lorsqu'ils étaient bien conçus étaient aussi efficaces que les masques en tissu synthétique [18].

L'adaptation du masque au contour du visage semble être l'un des facteurs essentiels de son efficacité au niveau du filtrage de l'air inspiré comme cela a été démontré par un modèle expérimental en 1987 [19].

Une étude de 1992, centrée sur les débits, a évalué l'efficacité des masques chirurgicaux (avec des débits variant de 5 à 100 L/min) en les comparant à plusieurs masques de type industriel. Cette étude a démontré que la qualité du matériel filtrant intégré au masque était plus importante que la conception même du masque. Une coque à structure poreuse grossière laisse passer 80 % des aérosols avec une faible influence du débit, alors qu'un masque conçu avec un matériel filtrant spécifique ne laisse passer que 25 % des aérosols à un débit de 5 L/min contre 70 % à 100 L/min [20]. Pour mémoire le débit ventilatoire d'un adulte passe de 6 à 8 L/min au repos à plus de 100 L/min à l'effort (course par exemple). C'est donc

bien cette gamme de débit qui correspond aux conditions réelles d'utilisation dans la vie courante à la différence des conditions d'utilisation à l'hôpital.

Dans une étude datant de 1993 portant sur la pénétration d'aérosols à travers les milieux filtrants et les fuites induites au niveau du joint facial de huit masques chirurgicaux différents, il est apparu que le pourcentage de pénétration à travers les différents filtres varie de 20 % à près de 100 %. En comparaison, un masque contre les poussières et les fumées utilisé en milieu industriel avait un taux de pénétration nettement inférieur. L'étude a conclu à la supériorité des masques industriels sur les masques chirurgicaux en termes de filtration pure mais les masques industriels avaient une moins bonne résilience en cas d'endommagement [21].

La méthode optique de Schlieren permet de rendre visibles les flux d'air expiré et d'évaluer l'effet des masques couramment utilisés sur la dispersion des gouttelettes par la toux. Avec cette technique, il a été démontré en 2009 que la toux humaine projette un jet turbulent rapide dans l'air ambiant, mais que le port d'un masque chirurgical ou d'un masque de type N95 (norme américaine proche de la norme européenne FFP2) neutralise ce phénomène naturel soit en bloquant la formation du jet turbulent (masque N95), soit en le brisant et le redirigeant latéralement (masque chirurgical) [22].

Dans une revue de littérature de 2010 ayant analysé 46 études sur les masques, il est apparu que les méthodologies ont utilisé un modèle d'exploration de niveau moyen ou inférieur. Dans la majorité des études, les facteurs de confusion importants comprenaient l'impact non reconnu de la combinaison simultanée d'autres mesures de lutte contre les infections, le respect du port des masques, la contamination due à l'enlèvement inapproprié des masques et l'inoculation oculaire. Seules trois études ont comparé directement la valeur protectrice des masques chirurgicaux avec les masques N95. La majorité des études en laboratoire ont identifié les deux types de masques comme ayant une efficacité de filtration variable, mais les masques N95 offraient une protection supérieure contre les particules de taille similaire à celle de la grippe. Les conclusions de cette revue de littérature étaient que les directives de l'Organisation mondiale de la santé recommandaient le port de masques chirurgicaux pour tous les soins aux patients, à l'exception des masques N95 lorsque les protocoles utilisés génèrent des aérosols. En effet, la rareté des études effectuées dans ce domaine ne permettait pas d'appuyer la réglementation sur des preuves [23].

Dans une autre étude datant de 2013, vingt et un volontaires en bonne santé ont fabriqué leur propre masque facial à partir de T-shirts en coton. Ces masques ont ensuite été testés pour vérifier leur ajustement. Le nombre de micro-organismes isolés à partir de la toux des volontaires en bonne santé portant leur masque fait maison, un masque chirurgical ou aucun masque a été comparé à l'aide de plusieurs techniques d'échantillonnage de l'air. Le facteur d'ajustement médian des masques faits maison était la moitié de celui des masques chirurgicaux. Les deux masques ont réduit de manière significative le nombre de micro-organismes expulsés par les volontaires, mais le masque chirurgical a été trois fois plus efficace pour bloquer la transmission que le masque « fait maison ». Les conclusions de l'étude sont qu'un masque fait maison sur la base d'un tissu de T-shirt ne devrait être considéré qu'en dernier recours pour prévenir la transmission de gouttelettes par des personnes infectées, dans un contexte où ce serait mieux qu'aucune protection [24].

MÉTHODOLOGIE

En tant que pilote du projet MasKaDom, l'ImdR a constitué une équipe projet comprenant ses partenaires habituels et une structure de recherche comportant :

- un laboratoire de biologie (association loi 1901) fonctionnant en partenariat avec le laboratoire de bactériologie, virologie et microbiologie industrielle de la faculté des sciences pharmaceutiques de Toulouse ;
- un centre technique industriel (loi 1948), organisme expert pour les études, les essais, les étalonnages et les formations pour les industriels de l'aéronautique et de la thermique ;
- un pôle de compétitivité sur la filière des textiles techniques et fonctionnels, labellisé par l'État et accompagné par une entreprise spécialisée dans l'intégration de nouvelles technologies dans les textiles et supports souples ;
- un spécialiste de l'entretien et du nettoyage des textiles ;
- une école supérieure d'ingénieurs ;
- des professionnels de la promotion de solutions « fait maison ».

Ces partenaires se sont concertés pour constituer un protocole global d'évaluation, fondé sur les études princeps décrites précédemment et sur des publications de référence plus récentes [25].

Cette démarche a été sous-tendue par une logique de bénévolat pour le temps passé, seuls les frais liés à l'utilisation des laboratoires et au coût des consommables sont restés à la charge des deux promoteurs de l'étude, aidés par un *crowdfunding* qui reste d'actualité [26].

Les différents partenaires ont été répartis selon des groupes correspondant à leur cœur de métier, d'une part, à des thèmes exploratoires, d'autre part, à savoir un groupe textile, un groupe couturières, un groupe filtration et un groupe microbiologie.

Groupe textile

La forme des masques ainsi que le choix des tissus ont été définis après étude de plusieurs formes, le masque trois plis dit « AFNOR » a été retenu. Il s'agit d'un complexe tissu drap de lit et tissu éponge (Fig. 1).

Une série de 200 masques a été confectionnée pour permettre la réalisation des tests en laboratoire.

Pour les aspects lavage et conservation, se posait la question de la température de 60 °C. Fallait-il une température constante ou pas ?

Groupe couturières

Une évaluation comparative d'une vingtaine de tutoriels pré-sélectionnés sur Internet pour leur potentiel pédagogique, a été menée par six personnes, elles-mêmes retenues pour la diversité de leurs compétences en couture, aucune n'étant professionnelle. Afin de faciliter la diffusion des résultats, cette évaluation s'est déroulée sous la forme d'un concours (le Festival des Masques) doté d'un jury et de plusieurs prix.

Groupe filtration

La filtration (effet de barrière) et la respirabilité varient d'un type de tissu à l'autre. En fait, l'efficacité de filtration est fonction du caractère plus ou moins serré du tissage, du diamètre des fibres ou des fils et, dans le cas de matériaux non tissés, du procédé de fabrication. En règle générale, la filtration des



Figure 1. Exemple de confection du modèle de masque retenu pour la validation de la méthodologie globale (<http://laisseluciefer.blogspot.com/>).

tissus et des masques varie entre 0,7 % et 60 % (plus la filtration est élevée, plus le tissu fait barrière). Le revers de la médaille est la respirabilité (possibilité de respirer à travers le tissu du masque). Elle est exprimée pour l'ensemble du masque par la différence de pression en millibars (mbar) ou en Pascals (Pa) ou, pour une partie du masque, sur un centimètre carré (mbar/cm² or Pa/cm²). À titre d'exemple, pour les masques médicaux, une différence de pression inférieure à 49 Pa/cm² est acceptable. Dans le cas des masques non médicaux, la différence de pression sur l'ensemble du masque doit être inférieure à 100 Pa. Enfin, le facteur « Q » (qualité du filtrage) est fonction de l'efficacité de la filtration et de la respirabilité (plus la valeur de « Q » est élevée, meilleure est l'efficacité globale) [27].

Les laboratoires destinés aux mesures de filtration ont mis au point leurs bancs de tests en relation avec la Direction générale de l'armement (DGA) et son référentiel tout en gardant à l'esprit que l'efficacité de filtration des masques grand public respectant la norme AFNOR SPEC S76 001 est d'au moins 70 % pour les particules de diamètre 3 µm pour la catégorie 2 et de 90 % pour la catégorie 1 [28].

Groupe microbiologie

Des tests microbiologiques ont été lancés pour valider les procédures de lavage des masques après imprégnation par le virus SARS-CoV-2. Dans cette procédure, deux questions se posaient sur le niveau adéquat de température à respecter (40 °C ou 60 °C) et leur efficacité sur la disparition ou la persistance du virus après lavage dans les conditions pratiques d'utilisation des masques textiles préconisés dans le cadre de la maîtrise de la pandémie de COVID-19.

Le volet 1 du protocole d'étude a été consacré à la définition des conditions pratiques et reproductibles d'obtention et de conservation d'une propreté « satisfaisante » selon plusieurs modalités de stockage :

- évaluation de la propreté des masques après fabrication/ après lavage ;

- évaluation de la propreté des masques après lavage et évolution en cours de conservation « sale », afin de définir les conditions optimales ;
- évaluation de la propreté des masques après lavage tel que préconisé par l'Agence nationale de sécurité du médicament (ANSM) (60 °C 30 min, lavage machine) puis port de quatre heures, conservation dans les conditions définies ;
- évaluation de la propreté des masques après lavage tel que préconisé par l'ANSM (60 °C 30 min, lavage machine) puis port de quatre heures, conservation dans les conditions définies, et nouveau lavage machine.

Le volet 2 a été dévolu à l'évaluation de l'efficacité des différentes modalités de nettoyage sur la réduction d'une charge virale contrôlée de SARS-CoV-2 (réalisée en laboratoire P3).

RÉSULTATS

Groupe textile

Il a été impossible de vérifier la constance de la température de 60 °C lors d'un cycle de lavage effectué avec une machine du commerce. Le mode de fonctionnement d'un lave-linge « grand public » garantit en effet l'atteinte d'une température donnée, qui donne son nom au programme de lavage correspondant, mais aucune durée de séjour à cette température n'est spécifiée. Imposer une durée de séjour à haute température serait en effet préjudiciable à l'autre argument de vente prioritaire du lave-linge, à savoir leur faible consommation énergétique. Toutefois, les tests de lavage ont permis, en collaboration avec le groupe microbiologie, de valider la disparition de la détection des particules virales après un lavage machine réglée sur un programme de lavage dit « 60 °C ».

Groupe couturières

Après en avoir délibéré, le jury du festival de masques a retenu sept tutoriels candidats à la récompense de Tuto d'Or : Attack ton Mask [29], Au Fil d'Emma [30], Cassie Mini [31], Couture de Perrine (bec de canard) [32], Couture de Perrine (CHUG sans couture sagittale) [33], Laisse Luciefer [34], Sable chaud [35]. Parmi ces candidats, le jury a désigné, comme lauréat du Tuto d'Or, le tutoriel Laisse Luciefer (Masque Trois Plis et Astuces) le plus pédagogique et menant à un très bon résultat en termes d'ajustement au visage (Fig. 2).

La liste des tutoriels portant sur des modèles de masques différents, le jury a souhaité décerner d'autres récompenses : le Prix « Perroquet » pour Attack ton Mask qui décline une version du masque du CHU de Grenoble sans couture sagittale et est très clair ; le Prix « MaskEnfant » pour Cassie Mini (masques pour enfants) qui est complet, très didactique et facile à adapter ; le Prix « Canard » pour Couture de Perrine (bec de canard) qui est bien fait, facile à suivre et permet de réaliser des modèles bec de canard pour ceux qui préfèrent ; le Prix « Tuto des Nuls » pour Au fil d'Emma qui est très pédagogique et bien adapté aux débutants.

D'autres tutoriels ont été distingués pour des formes de masque spécifiques (enfant, bec de perroquet, bec de canard), mais non retenus dans l'étude à ce stade.

Groupe filtration

La réalisation de ces mises au point a mis en évidence la difficulté de reproduire les modèles expérimentaux. En effet,



Figure 2. Image d'accueil du Tuto Masque trois plis et Astuces de Laisse Luciefer lauréat du Tuto d'Or (<http://laisse-luciefer.blogspot.com/>).

les premières tentatives ont conduit les laboratoires à trouver des résultats assez différents entre eux pour des tests effectués sur les mêmes combinaisons masque-tissu. Les résultats étaient également très différents de ceux obtenus par la DGA, sur des échantillons fournis par la DGA. Notons que les dispositifs expérimentaux, conçus à l'origine pour des finalités différentes (études académiques ou portant sur des filtres industriels) ont été adaptés à des essais de complexes de tissu/visage/masques « fait maison ». Ce qui peut expliquer les divergences dans les résultats entre laboratoires et référentiel. Après mises au point des différents bancs de tests, les résultats sont devenus convergents entre les laboratoires partenaires, mais restent encore éloignés des résultats attendus par le référentiel de la DGA (Fig. 3–5 et Tableau I).

À partir de ces constats, se pose la question d'une étude d'harmonisation des méthodes de test pour des conditions d'utilisation, aussi proches que possible de l'usage. Il resterait à la financer et à la produire.

Groupe microbiologie

Pour le volet 1, l'étude conclut à ce stade que :

- les masques en textile présentent initialement des biocharges significatives correspondant à une flore environnementale, essentiellement représentée par des *Bacillus* sp. Quelques Fungi sont également détectés ;
- le lavage en machine à 60 °C, 30 min n'induit pas de réduction significative de cette flore. Les *Bacillus* sont des bactéries capables de sporuler et, sous cette forme, de résister à ce traitement ;
- la conservation des masques après lavage se traduit par une légère augmentation des biocharges observées juste après lavage et séchage à l'air libre, quelle que soit la méthode de conservation (conditions ambiantes ou boîtes fermées) ;
- après lavage et port de quatre heures, la conservation des masques se traduit par une augmentation des biocharges et par la détection de micro-organismes potentiellement d'origine humaine (cutanée, voire buccodentaire), quelle que soit

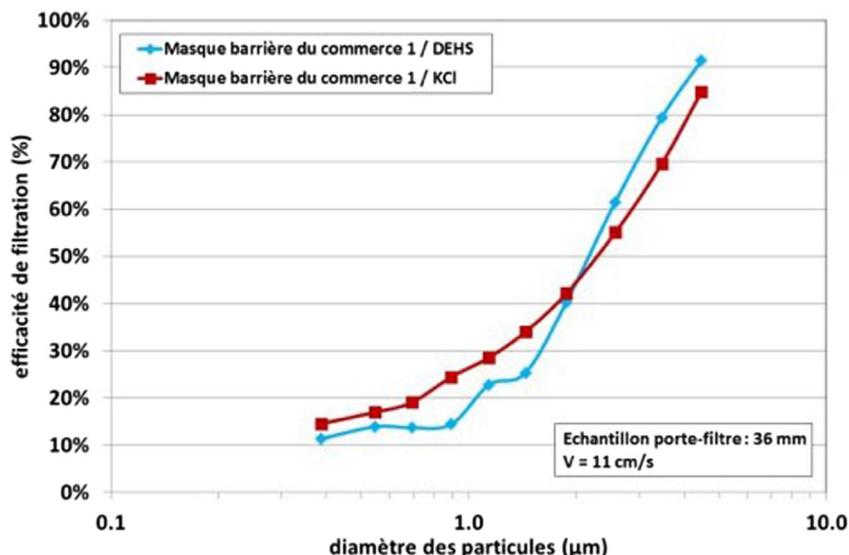


Figure 3. Efficacité de la filtration de masque barrière du commerce (en %) en fonction du diamètre des particules filtrées (µm) comparant un aérosol hydrique à base de chlorure de potassium (KCl) et un aérosol lipidique à base de di-(2-ethylhexyl)sebacate, (DEHS) à la même vitesse de flux de 11 cm/s montrant un taux de filtration de l'ordre de 60 % pour un diamètre de 3 µm dans les conditions expérimentales au lieu des 70 % attendus pour l'un des laboratoires (X).

la méthode de conservation (conditions ambiantes ou boîtes fermées) ;

- un lavage ultérieur après cette phase de conservation permet de revenir à une flore de base, que ce soit sur le plan quantitatif ou qualitatif (*Bacillus* sp.) ;

Pour le volet 2, une relation a pu être établie avec un laboratoire P3 pour que les tests soient réalisés non pas en simulation, mais avec un vrai virus, ce qui donnerait un aperçu du réel.

Les résultats sont encore en attente d'une autorisation de publication par le labo propriétaire.

DISCUSSION

À ce stade, les parties prenantes du projet ont pu valider le bien-fondé de la démarche dans un contexte où le Haut conseil

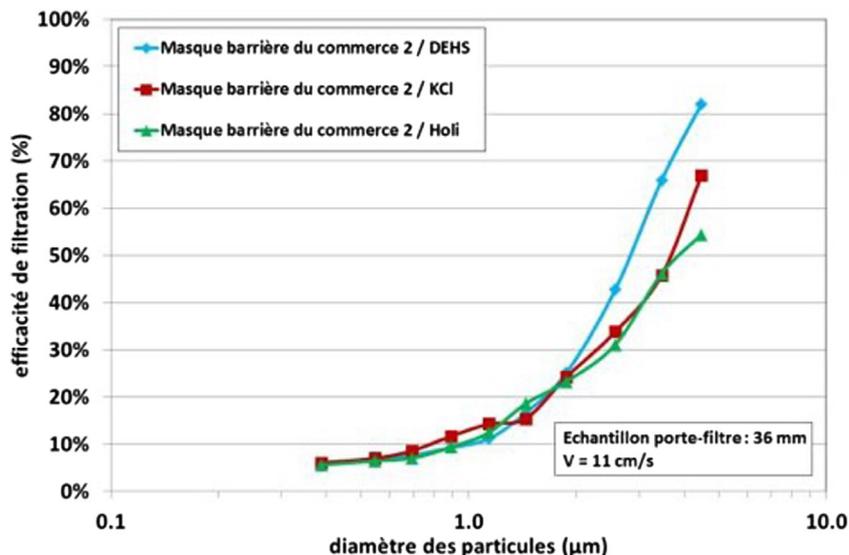


Figure 4. Efficacité de la filtration de masque barrière du commerce de type 2 (en %) en fonction du diamètre des particules filtrées (µm) comparant un aérosol hydrique à base de chlorure de potassium (KCl), un aérosol lipidique à base de di-(2-ethylhexyl)sebacate, (DEHS) et un aérosol poudreux à base d'amidon de maïs coloré (Holi) à la même vitesse de flux de 11 cm/s montrant un effondrement de la filtration pour les aérosol KCl et Holi à 40 % pour un diamètre de 3 µm dans les conditions expérimentales au lieu des 70 % attendus pour l'un des laboratoires (W).

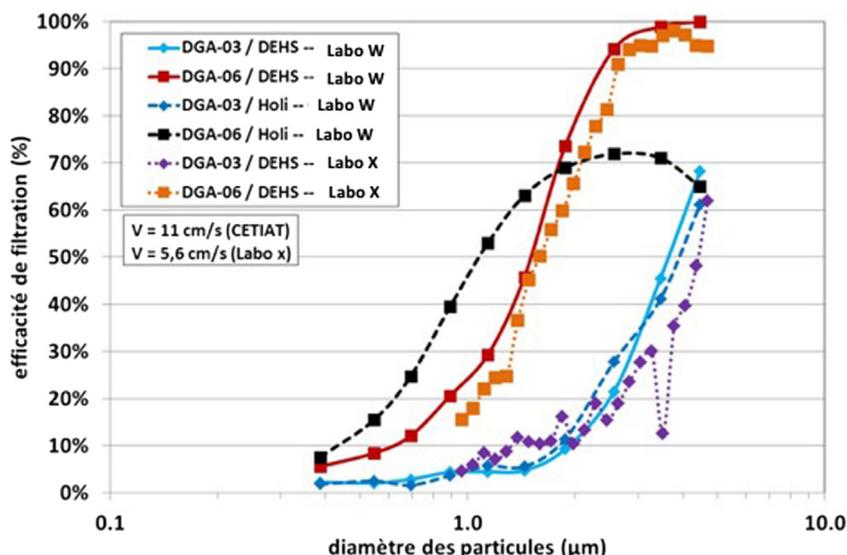


Figure 5. Efficacité comparée de la filtration de masque barrière (en %) des laboratoires W (vitesse de filtration à 11 cm/s) et X (vitesse de filtration à 5,6 cm/s) comparés au modèle DGA en fonction du diamètre des particules filtrées (µm) et pour plusieurs types d'aérosols (KCl, DHES, Holi) montrant les disparités et les convergences des résultats selon les conditions expérimentales.

Tableau I. Comparaison de l'efficacité de filtration (en %) pour deux diamètres de particule de référence 1 et 3 µm pour les laboratoires W et X comparativement au référentiel de la DGA démontrant la difficulté à transposer les référentiels de laboratoire aux conditions au plus proche du réel.

| Efficacité | Laboratoire W (%) | Laboratoire X (%) | DGA (%) |
|------------|-------------------|-------------------|---------|
| 3 µm | 34 | 27 | 72 |
| 1 µm | 5 | 5 | 60 |

à la santé publique (HCSP) recommande dans tous les lieux clos publics et privés collectifs, le port d'un masque grand public de préférence en tissu réutilisable, couvrant le nez et la bouche et répondant aux spécifications de la norme AFNOR S76-001.

L'état d'avancement du projet a permis de préciser des points fondamentaux laissé dans l'ombre de l'incertitude jusqu'à ce jour bien que ces points engagent potentiellement la responsabilité de ceux qui font la promotion du recyclage domestique des masques qu'ils soient industriels, artisanaux ou « faits maison ». Il est à noter que les résultats tendent à exonérer les promoteurs en apportant des éléments de preuve à leurs assertions initiales.

Ainsi il est établi de manière certaine que :

- les masques « fait maison » offrent un niveau de filtration non négligeable ;
- plusieurs modèles sont pertinents et font l'objet de tutoriels accessibles au plus grand nombre ;
- les masques se contaminent par la flore environnementale et la flore commensale de ceux qui les portent ;
- le stockage avant lavage des masques, dans l'attente de leur recyclage par lavage, augmente la charge bactérienne ;

- le lavage par un lave-linge commercial affichant un cycle commercial « 60 °C » suffit à réduire la charge bactérienne au niveau de base.

Limites

Le projet est loin d'être abouti et toutes les conditions expérimentales n'ont pu être suffisamment clarifiées à ce stade. Il reste, notamment, encore à explorer et à quantifier :

- l'influence du nombre de cycle de lavage sur les performances techniques des masques ;
- l'impact des différentes modalités de nettoyage sur la réduction d'une charge virale contrôlée de SARS-CoV-2 ;
- la qualité des différents designs de masque disponibles sur le net ;
- la qualité des différents types de tissus préconisés sur le net.

Perspectives

Il manque un financement pour mener à bien l'exploration à son terme, dans un contexte où les pays africains francophones, par exemple, sont en attente de nos résultats pour

aider à protéger leurs populations. Un budget de 200 000 € suffirait pour répondre à toutes les questions en suspens et mettre à disposition des modèles de masques « fait maison » adéquats.

C'est une question de volonté et de dotation des deux sociétés savantes à l'origine du projet par des bailleurs concernés. Cet article a aussi vocation à convaincre ces bailleurs à investir dans cette problématique et sa solution.

CONCLUSION

La présente contribution à l'étude de l'efficacité et de l'entretien des masques de protection respiratoire en tissu « fait maison » répond à un réel besoin tant au niveau des utilisateurs que des promoteurs de tels masques. En effet, des différences importantes dans les recommandations concernant l'utilisation des masques contre la COVID-19 chez le grand public existent d'un pays à un autre. Ces différences sont le résultat de la controverse quant à l'efficacité des masques en tissu, malgré une utilisation répandue en Europe et dans le reste du monde. Compte tenu de la grande diversité des modèles, il apparaît évident que les méthodes testées sur un modèle de masque ne sont pas nécessairement extrapolables à un autre modèle, encore moins à une autre marque. Il reste donc beaucoup à faire en la matière. Dans l'intervalle, le port de ces masques non médicaux par le grand public contribue à réduire le risque de transmission de la COVID-19, surtout lorsque le masque est porté à la fois par les personnes infectées et par les personnes susceptibles de contracter la maladie, bien que cette mesure, à elle seule, n'élimine pas tout risque de transmission.

Remerciement

Les auteurs tiennent à remercier les parties-prenantes, entreprises et individus, qui ont contribué au bon déroulement de ce vaste projet, en particulier – les laboratoires, FONDEREPHAR, CETIAT, IMT ATLANTIQUE ; les groupes textiles, TECHTERA, CTTN-IREN, SABLE CHAUD et les couturières ; le groupe d'experts, J.-C. Hansen, G. Mounier, J.-P. Carpentier, P.-J. Valayer, Plateforme Típee ; le Dr B. Helfer qui a initialisé la mission de chef de projet.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

RÉFÉRENCES

- [1] Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of Viruses. The species severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: Classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat Microbiol* 2020;5:536–44.
- [2] van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 2020;382:1564–7. doi: 10.1056/NEJMc2004973.
- [3] Buonanno G, Stabile L, Morawska L. Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environ Int* 2020;141:105794.
- [4] Riva G, Michielsen N, Ollivier E, Delorme MO, Dageron D, Ferloni P, et al. Pollution de l'air et santé : il s'agit avant tout d'un problème de particules en suspension. https://www.researchgate.net/profile/Alain-Henaut/publication/233808445_Pollution_de_l'air_et_sante_il_s'agit_avant_tout_d'un_probleme_de_particules_en_suspension/links/09e4150bb65837780b000000/Pollution-de-lair-et-sante-il-sagit-avant-tout-dun-probleme-de-particules-en-suspension.pdf.
- [5] Sakurai A, Sasaki T, Kato S, Hayashi M, Tsuzuki SI, Ishihara T, et al. Natural history of asymptomatic SARS-CoV-2 infection. *N Engl J Med* 2020;383:885–6.
- [6] Chu DK, Akl EA, Duda S, Solo K, Yaacoub S, Schünemann HJ. COVID-19 systematic urgent review group effort (SURGE) study authors physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 2020;395:1973–87.
- [7] Leung NHL, Chu DKW, Shiu EYC, Chan KH, McDevitt JJ, Hau BJP, et al. Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nat Med* 2020;26:676–80.
- [8] Wang Y, Tian H, Zhang L, Zhang M, Guo D, Wu W, et al. Reduction of secondary transmission of SARS-CoV-2 in households by face mask use, disinfection and social distancing: a cohort study in Beijing, China. *BMJ Glob Health* 2020;5:e002794.
- [9] Greenhalgh T, Schmid MB, Czypionka T, Bassler D, Gruer L. Face masks for the public during the COVID-19 crisis. *BMJ* 2020;369:m1435. doi: 10.1136/bmj.m1435.
- [10] Mon Masque Barrière fait à domicile. <https://maskadom.eu/>.
- [11] Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med* 2020;382:727–33. doi: 10.1056/NEJMoa2001017.
- [12] Spooner JL. History of surgical face masks. The myths, the masks, and the men and women behind them. *AORN J* 1967;5(1):76–80. doi: 10.1016/S0001-2092(08)71359-0.
- [13] Fluegge C. Über Luftinfektion. *Ztschr f Hyg* 1897;25:179.
- [14] Berger P. De l'emploi du masque dans les opérations. *Bull Soc Chir Paris* 1899;25:187–96.
- [15] Haller DA, Colwell RC. The protective qualities of the gauze face mask: experimental studies. *J Am Med Assoc* 1918;71(15):1213–5.
- [16] Kellogg WH, Macmillan G. An experimental study of the efficacy of gauze face masks. *Am J Public Health* 1920;10(1):34–42. doi: 10.2105/ajph.10.1.34.
- [17] Davis JS. The importance of adequate masking during opération. *Ann Surg* 1934;100(5):1008.
- [18] Quesnel LB. The efficiency of surgical masks of varying design and composition. *Br J Surg* 1975;62(12):936–40.
- [19] Pippin DJ, Verderame RA, Weber KK. Efficacy of face masks in preventing inhalation of airborne contaminants. *J Oral Maxillofac Surg* 1987;45(4):319–23.
- [20] Chen CC, Willeke K. Aerosol penetration through surgical masks. *Am J Infect Control* 1992;20(4):177–84.
- [21] Weber A, Willeke K, Marchioni R, Myojo T, McKay R, Donnelly J, et al. Aerosol penetration and leakage characteristics of masks used in the health care industry. *Am J Infect Control* 1993;21(4):167–73. doi: 10.1016/0196-6553(93)90027-2.
- [22] Tang JW, Liebner TJ, Craven BA, Settles GS. A schlieren optical study of the human cough with and without wearing masks for aerosol infection control. *J R Soc Interface* 2009;6(suppl. 6):S727–36. doi: 10.1098/rsif.2009.0295.focus [Epub 2009 Oct 8].
- [23] Gralton J, McLaws ML. Protecting healthcare workers from pandemic influenza: N95 or surgical masks? *Crit Care Med* 2010;38(2):657–67. doi: 10.1097/ccm.0b013e3181b9e8b3.
- [24] Davies A, Thompson KA, Giri K, Kafatos G, Walker J, Bennett A. Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic? *Disaster Med Public Health Prep* 2013;7(4):413–8. doi: 10.1017/dmp.2013.43.



- [25] Brochot C, Michielsen N, Chazelet S, Thomas D. Measurement of protection factor of respiratory protective devices toward nanoparticles. *Ann Occup Hyg* 2012;56(5):595–605.
- [26] <https://www.helloasso.com/associations/institut-pour-la-maitrise-des-risques/collectes/maskadom-je-te-protège-tu-me-protèges>.
- [27] World Health Organisation (WHO). Conseils sur le port du masque dans le cadre de la COVID-19, Orientations provisoires; 2020, https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332448/WHO-2019-nCov-IPC_Masks-2020.4-fre.pdf.
- [28] INRS. Masques et prévention de la transmission de la COVID-19; 2020, <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206392>.
- [29] https://www.youtube.com/watch?v=KXSTShQccnU&feature=emb_logo.
- [30] <http://www.atelierdemma.com/tuto-les-masques-en-tissu/#more-14640>.
- [31] <https://www.youtube.com/watch?v=uPNUTqG9HIU>.
- [32] <https://www.youtube.com/watch?v=AIV-weW4W2A>.
- [33] https://www.youtube.com/watch?v=PnctoDGJ5_o&feature=youtu.be.
- [34] <http://laisse-lucifer.blogspot.com/2020/05/tuto-masque-3-plis-et-astuces.html>.
- [35] <http://sablechaud.eu/Tuto-masqueSC.pdf>.