

# COVID-19 : Proposition d'un procédé de désinfection rapide et comparatif de l'efficacité des masques faits maison

M. Dhen,<sup>1,\*</sup> N. Siebert,<sup>1,†</sup> and G. Springuel<sup>1,‡</sup>

<sup>1</sup>ECAM Brussels Engineering School, Brussels, Belgium

Bien que ne pouvant atteindre les performances de masques professionnels, les masques artisanaux présentent l'avantage d'être une solution minimale au vu des circonstances actuelles. Ils pourraient être d'autant plus intéressants si, de plus, ils sont réutilisables et désinfectables à haute température et résistants au passage de projections de gouttelettes. Cet article propose de telles pistes d'amélioration.

## I. INTRODUCTION

La situation actuelle encourage la production de masque artisanaux. Beaucoup de procédures de fabrication de masques artisanaux peuvent être trouvées sur le web. Ces procédures se différencient en général par le tissu choisi, le nombre de couches de tissu, un insert éventuel entre les couches, la forme du patron, les cordons de serrages, etc. Bien que ne pouvant atteindre les performances de masques professionnels, les masques artisanaux présentent l'avantage d'être une solution minimale au vu des circonstances actuelles. Ils pourraient être d'autant plus intéressants si ils sont réutilisables, désinfectables à haute température et résistants au passage de projections de gouttelettes.

Dans un premier temps, nous étudions un procédé de désinfection, qui consiste à reproduire un système d'autoclave à l'aide d'un four à micro-ondes, permettant la réutilisation quotidienne des masques, dans la limite des moyens disponibles actuellement. Dans un deuxième temps, nous étudions la résistance à la diffusion d'une solution aqueuse de différents masques artisanaux soumis à la projection de gouttelettes sur leur face intérieure.

## II. PROCÉDÉ DE DÉSINFECTION À L'AIDE D'UN FOUR MICRO-ONDES

Afin que tout le monde puisse réutiliser son masque artisanal, il est important de proposer un procédé nécessitant uniquement des ustensiles présents dans une maison classique. Le lavage en machine à 60°C est efficace mais difficilement réalisable chaque jour par chaque ménage. C'est pourquoi un procédé alternatif, basé sur le procédé employé pour la stérilisation des biberons et à réaliser entre les lavages, a été étudié.

Le procédé de désinfection proposé vise à réduire le nombre de germes, bactéries ou virus, au moyen d'un procédé réalisable tous les jours par tout un chacun. L'idée est de reproduire un système d'autoclave à l'aide d'une boîte de conservation hermétique en polypropylène (PP), qui constitue la cellule de désinfection, et d'un four à micro-ondes.

Le procédé est le suivant :

- Placer un petit récipient de contenance d'environ 30ml en HDPE dans le fond de la cellule de désinfection et y ajouter 10ml d'eau.
- Placer le masque en petit pont au-dessus du récipient contenant l'eau tel indiqué sur la figure 1.
- Refermer hermétiquement le couvercle de la cellule.
- Placer la cellule dans le four à micro-ondes et faire chauffer pendant 5 min à 750 W.

Il est très important de bien respecter la quantité d'eau, le temps et la puissance de chauffe. Sinon, soit la température atteinte dans la cellule de désinfection ne sera pas suffisante pour réduire un maximum de germes, soit la pression et la température de la vapeur au sein de la cellule seront trop importantes, ce qui risque d'endommager le récipient et/ou de provoquer une brûlure lors de l'ouverture. En effet, la boîte de conservation en PP est fermée hermétiquement mais le couvercle peut se soulever et s'ouvrir si la pression à l'intérieur devient trop importante. Il est pour cela déconseillé d'utiliser des boîtes de conservation avec un système de clips sur les côtés qui empêcherait l'ouverture du couvercle.

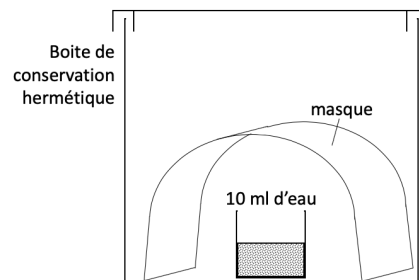


Figure 1: Disposition à l'intérieur de la boîte de conservation placée au four à micro-ondes.

### A. Tests réalisés

Afin de vérifier la faisabilité du procédé ci-dessus, des tests ont été réalisés à l'aide d'une boîte de conservation en PP de la marque DBP achetée en grande surface, résistante à plus de 100°C, d'une contenance de 750ml et d'un volume réel de 850ml. Cette boîte représente la cellule de désinfection. Le four à micro-ondes est un modèle de base de la marque Whirlpool AMW210 produisant une puissance max de 750 W.

\* dhn@ecam.be

† sbr@ecam.be

‡ spr@ecam.be

### 1. Principe de l'expérience

Au vu de la difficulté d'introduire un instrument de mesure de température classique, type thermomètre ou thermocouple au sein de la cellule de désinfection, nous avons utilisé des polymères témoins dont les changements de phase nous ont permis d'avoir une approximation de la température atteinte. Trois polymères témoins ont été sélectionnés :

- 2 poly(téréphtalate) d'éthylène (PET) différents, qui sont initialement sous forme amorphe (transparent) et qui cristallisent à des températures entre 100 – 105°C et 105 – 110°C respectivement.
- Un polyéthylène haute densité (HDPE) dont la température de fusion est d'environ 130°C.

Les températures ci-dessus ont été déterminées via une étuve classique dont la température est mesurée en continu par un thermocouple intégré. L'utilisation d'une DSC aurait permis une mesure plus précise de la température de cristallisation ou de fusion de ces polymères. Ces trois polymères témoins ont fait office d'indicateurs de température. Leurs températures respectives de changement de phase sont repris dans le tableau I ci-dessous.

Témoin	Polymère	Température de changement de phase
1	PET	100 – 105°C
2	PET	105 – 110°C
3	HDPE	~ 130°C

Table I: Récapitulatif des polymères témoins et de leur température de changement de phase.

### 2. Mode opératoire

La détermination des températures atteintes dans la cellule au court du procédé de désinfection a été effectuée comme suit.

- Un petit récipient de contenance d'environ 30ml en HDPE contenant 10ml d'eau a été placé dans le fond de la cellule de désinfection, tel que représenté à la figure 1.
- Des polymères témoins ont été placés sur des supports à la hauteur du masque de la figure 1.
- La cellule, fermée hermétiquement, a été placée pendant différents temps, allant de 30 s à 5 min, à 750 W dans le four à micro-ondes.

### B. Résultats et discussion

En suivant le mode opératoire décrit ci-dessus, la cristallisation du 1<sup>er</sup> polymère témoin apparaît après 3'30" indiquant

ainsi que la température de la cellule a atteint une température comprise entre 100 et 105°C. La cristallisation du 2<sup>ème</sup> polymère témoin apparaît après 3'45" indiquant ainsi que la température de la cellule a atteint une température comprise entre 105 et 110°C. Après les 5 min au micro-ondes, le 3<sup>ème</sup> polymère témoin n'est pas passé à l'état liquide, de sorte que la température dans la cellule de désinfection n'aura donc jamais atteint les 130°C. La valeur exacte de la température finale n'a pas encore pu être déterminée avec précision par manque d'un polymère témoin adéquat.

En conclusion, on peut donc dire qu'au cours de ces 5 min au four à micro-ondes, le masque aura été exposé à une vapeur d'une température d'au moins 105°C pendant 1'15". Ce temps d'exposition peut paraître fort court au regard des normes de stérilisation qui recommandent une exposition de 20 min à une vapeur d'eau saturée de 121°C [3]. Toutefois, suivant les tables de Regnault [4], pour que la vapeur atteigne cette température, la pression absolue dans la cellule devrait être de 2 bar. Cette pression est difficilement maintenable dans une boîte de conservation en PP. C'est pourquoi, la méthode proposée n'est pas considérée comme une stérilisation mais plutôt comme une désinfection.

Le masque artisanal doit donc idéalement pouvoir résister aux micro-ondes et à une température de tout au plus 130°C. De plus, les masques doivent pouvoir résister à la machine à laver. Avant l'utilisation, le masque doit être parfaitement sec.

### III. ETUDE DE RÉSISTANCE À LA DIFFUSION D'UNE SOLUTION AQUEUSE

Cette étude a pour but de reproduire en laboratoire des étternuements en projetant une certaine quantité d'eau florescente sur la face intérieure de masques artisanaux. A l'aide du dispositif présenté ci-dessous, nous avons déterminé le nombre de projections à partir duquel des gouttelettes étaient visibles sur la face extérieure de ces masques. Nous associons ensuite ce nombre de projections à une relative résistance à la diffusion d'une solution aqueuse.<sup>1</sup>

#### A. Tests réalisés

Afin de reproduire au mieux les conditions d'un étternuement, nous avons réalisé le dispositif expérimental ci-dessous, Fig. 2. Des photos de l'expérience se trouvent en annexes, figure 7 et 6. Par détente, de l'air est expulsé sur des gouttes d'eau fluorescente, ce qui permet la projection de gouttelettes à des vitesses avoisinant les vitesses d'étternuement. Ces gouttelettes sont alors projetées sur la face intérieure du masque, située à une distance  $L = (1,0 \pm 0,2) \text{ cm}$ , tandis que des marques de transpercement sont détectées sur la face extérieure à l'aide d'une lampe UV.

<sup>1</sup> Par la suite, dans le but de ne pas alourdir le texte, le terme "résistance" doit être pris comme "résistance à la diffusion d'une solution aqueuse".

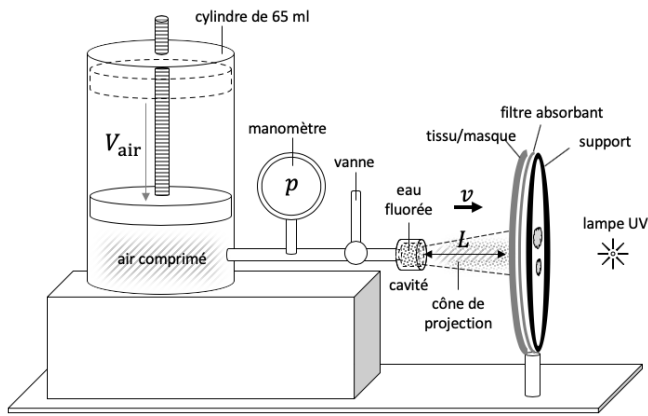


Figure 2: Vue globale du dispositif expérimental de projection de gouttelettes.

### 1. Principe de l'expérience

Pour l'expulsion des gouttelettes, nous avons comprimé un volume d'air  $V_{air} = (50 \pm 2)$  ml jusqu'à une pression relative de  $p = (3000 \pm 50)$  hPa, que nous avons détendu sur trois gouttes d'eau fluorescente de masse  $m = (0,15 \pm 0,01)$  g occupant une cavité de section  $S = (0,312 \pm 0,004)$  cm<sup>2</sup>. L'ouverture de la vanne étant manuelle, nous avons réalisé une analyse sonore sur plusieurs détonations afin d'avoir une estimation de la durée de celles-ci, qui vaut  $\Delta t = (0,14 \pm 0,02)$  s.

Ces données permettent d'avoir une borne supérieure sur la vitesse de l'air, et donc des gouttelettes, frappant l'intérieur du masque, qui vaut approximativement  $v_{max} = V_{air}/(S\Delta t) = (11 \pm 3)$  m/s.<sup>2</sup> La prise en compte de l'angle du cône de projection ne change que très peu cette valeur,<sup>3</sup> mais les forces de frottement de l'air devrait la diminuer en partie. Nous pensons donc raisonnablement pouvoir avancer que les gouttelettes frappent le masque avec une vitesse proche de celle des éternuements réels, qui est de l'ordre de 4,5 m/s [1].

A partir d'un certain nombre de projections, le masque peut transpercer, c'est-à-dire qu'un pont humide peut être créé entre la face intérieure et la face extérieure du masque, comme illustré en annexes à la figure 6. Afin de détecter cela le plus précisément possible, nous avons utilisé une solution aqueuse de fluoresceine (CAS 2321-07-5) et placé un filtre absorbant contre la face extérieure du masque, ce qui permet une visualisation précise des gouttelettes à l'aide d'une lampe UV et une lecture identique pour chaque expérience. La pression due à la détente de l'air sur le masque assure un contact entre sa face extérieure et le filtre.

<sup>2</sup> Malgré nos précautions, cette valeur est indicative et très imprécise car basée sur des mesures effectuées avec le matériel disponible actuellement. A noter que l'irrégularité des vitesses de projection a l'avantage de reproduire la variabilité des éternuements réels.

<sup>3</sup> En effet, on a mesuré un angle de cône de  $(22 \pm 4)^\circ$  qui, combiné avec la distance de projection de  $(1.0 \pm 0.2)$  cm, n'apporte de correction que de l'ordre de  $\sim 4\%$ .

## B. Résultats et discussion

Afin de comparer l'efficacité des masques étudiés, nous avons tout d'abord effectué des projections de gouttelettes sur une couche unique constituée de différents tissus pouvant être utilisés comme filtre central du masque. Parmi ces tissus, quatre sont hydrophobes comme illustré en annexes, figure 8 : le molleton en polyester, le tissu de marque Swiffer, le spunbond en polypropylène (PP) (textile non tissé) et le tissu central d'un masque chirurgical de type FFP1. Le nombre de projections avant transpercement est présenté dans le Tableau II ci-dessous.

Type de tissu	Nb	Hydro-
1 Loque jaune absorbante	1	phile
2 Essuie-tout quadruple-couche	1	phile
3 Papier filtre	1	phile
4 Molleton synthétique non tissé	1	phile
5 Molleton polyester	2	phobe
6 Tissu Swiffer	1	phobe
7 Spunbond PP	1	phobe
8 Tissu central d'un masque chirurgical FFP1	1	phobe

Table II: Nombre de projections (Nb) avant apparition de traces de fluoresceine sur le papier filtre pour différents tissus.

Cette première analyse montre qu'une seule couche de tissu, quelconque ou même hydrophobe comme la couche centrale d'un masque chirurgical, transperce après 1 voire 2 projections. Ceci peut s'expliquer par la faible épaisseur de tissu et par le fait que la vitesse des gouttelettes est telle que le passage du liquide est forcé à travers cette unique couche.

L'accumulation du nombre de couches devrait augmenter la résistance du masque. Mais cette augmentation n'est a priori pas simple, car elle dépend certainement du tissu (notamment de son caractère hydrophile ou hydrophobe) et de la combinaison de tissus utilisés pour former l'accumulation des couches. Afin de pouvoir comparer au mieux nos résultats, un type de masque artisanal constitué d'un tissu coton et d'un tissu polyester a été choisi comme modèle test. Différents inserts ont ensuite été testés. Les résultats complets de notre étude se trouvent en annexes, Table III. Ils sont résumés sur les graphiques ci-dessous. La figure 3 représente la résistance aux projections successives pour un nombre croissant de couches de tissus. La figure 4 représente la résistance de 2 couches hydrophiles (coton et/ou polyester) entourant une couche centrale de différentes natures. L'ordre des couches correspond à l'ordre de projection : de la face intérieure du masque à sa face extérieure en contact avec l'environnement. Nous avons arrêté les tests au-delà de 20 projections (ce qui correspond à  $\sim 3$  ml d'eau projetée) car les masques, bien que ne transperçant pas directement, laissaient tout de même passer le liquide via le point d'attache inférieur du dispositif de test.

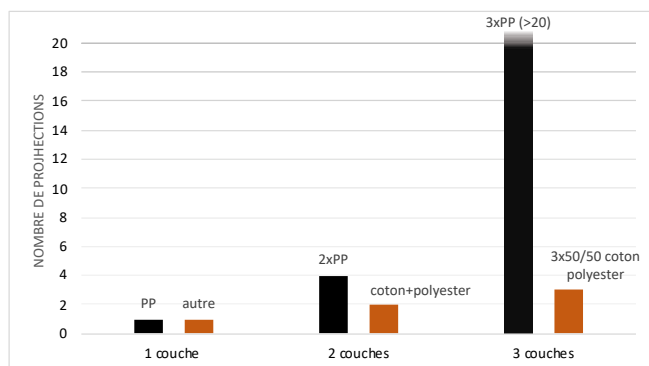


Figure 3: Nombre de projections, avant apparition de traces de fluoresceïne sur la face arrière du papier filtre, en fonction du nombre de couches de tissu Spunbond PP (noir). D'autres couches composées de tissus différents sont aussi représentées par comparaison (orange).

Les résultats montrent que :

- 2 couches de spunbond en PP hydrophobes résistent mieux que 2 couches coton+polyester hydrophiles (figure 3, mesures B1+B2 du tableau III).
- 3 couches de tissu hydrophiles ne semblent qu'un peu plus résistantes que 2 couches hydrophiles (figure 3 et 4, mesures B1+C2+C3 du tableau III).
- 3 couches de spunbond en PP hydrophobes résistent beaucoup mieux que 2 telles couches et que 3 couches 3 x 50% coton-50% polyester hydrophiles (figure 3, mesures C1+C2 du tableau III).
- Un tissu hydrophobe inséré entre une couche de coton et de polyester semble améliorer la résistance. Un insert composé de molleton en polyester semble particulièrement efficace (figure 4, mesures C2 à C6 du tableau III).
- Les combinaisons coton+insert+polyester et polyester+insert+polyester, avec un insert en molleton polyester, semblent être tout aussi efficaces (figure 4, mesures C6+C7 du tableau III).

Premièrement, au vu de ces résultats, il semble que ce soit l'accumulation de plusieurs couches de tissus qui rend les masques plus résistants, puisque même le tissu central du masque chirurgical pris isolément laisse passer le liquide. En particulier, il semble que l'accumulation de 3 couches hydrophobes améliore drastiquement la résistance, ce qui est en accord avec les résultats obtenus avec un masque chirurgical.

Deuxièmement, l'accumulation de couches hydrophiles semble augmenter la résistance, mais cette augmentation est relativement faible. Accumuler 4 couches augmenterait certainement la résistance. Cependant, plus il y a de couches, moins le masque est respirable et donc plus difficile à porter.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Une succession de 4 couches, 1x50% coton-50% polyester + 1 loque jaune absorbante + 2 x 50% coton 50% polyester, a été testée et celle-ci résiste à 16 projections. Cependant, il est alors trop difficile de respirer à travers.

Ceci peut se comprendre par le fait qu'une accumulation de plusieurs couches correspond à peu près à une augmentation de l'épaisseur de tissu, ce qui permet une plus grande absorption de liquide.

Troisièmement, comparativement à 3 couches hydrophiles, la résistance semble clairement améliorée lorsqu'on insère une couche hydrophobe entre 2 couches hydrophiles. Le molleton en polyester semble un insert hydrophobe particulièrement efficace dans cette configuration. Une explication possible est que la première couche amortit la projection des gouttelettes, de sorte que la couche centrale subit moins de pénétration forcée de gouttelettes.<sup>5</sup> Si cette couche centrale est hydrophobe, elle empêche naturellement le liquide de passer par capillarité.

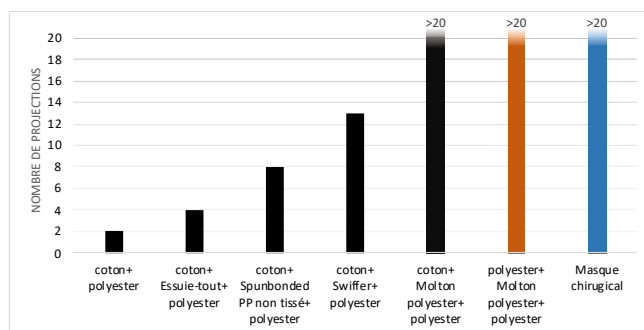


Figure 4: Nombre de projections, avant apparition de traces de fluoresceïne sur la face arrière du papier filtre, pour différents inserts intermédiaires entre une couche de coton et une couche de polyester (noir). D'autres configurations sont aussi représentées (en orange et en bleu).

Afin d'évaluer le comportement de ces masques artisanaux après un lavage en machine à 90°C ou une désinfection au four à micro-ondes, une nouvelle série de test a été réalisée sur les masques les plus résistants. Les résultats sont repris en annexes IV et illustrés sur le graphique 5. On notera que :

- Le textile spunbonded en polypropylène (PP) conserve son caractère hydrophobe après lavage ou désinfection au four à micro-ondes. Toutefois, sa résistance est nettement réduite (figure 5, mesures C1'+C1'' du tableau IV).
- Le molleton en polyester conserve à la fois son caractère hydrophobe et sa résistance (figure 5, mesure C6' du tableau IV)

Enfin, mentionnons que le tissu de la marque Swiffer conserve son caractère hydrophobe après une désinfection au four à micro-ondes, mais le perd après un lavage en machine. Le masque n'a donc pas été retesté.

<sup>5</sup> La projection de gouttelettes à une certaine vitesse semble forcer le liquide à pénétrer dans le tissu. Ceci expliquerait pourquoi une seule couche hydrophobe transperce en une projection.

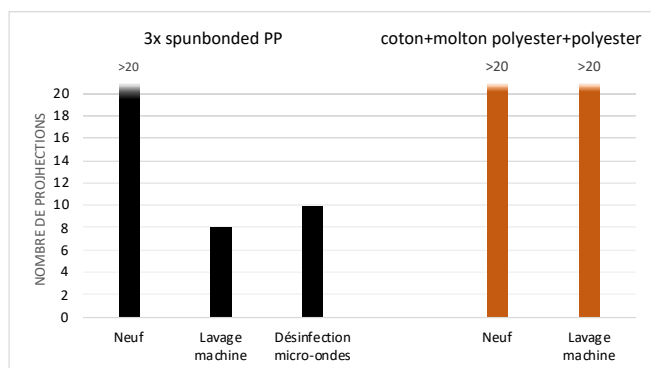


Figure 5: Comparaison du nombre de projections, avant apparition de traces de fluoresceine sur la face arrière du papier filtre, de différents masques composés de 3 couches entre leur état neuf, lavé à la machine et/ou désinfecté au micro-ondes.

#### IV. CONCLUSION

Cette étude, bien que succincte et rapide au vu des conditions actuelles, nous permet de proposer une amélioration aux modèles de masques actuellement disponibles sur le web.

Premièrement, si tous les matériaux constituant le masque sont résistants au micro-ondes et à des températures de tout au plus 130°C, un procédé de désinfection consiste à passer le masque au four à micro-ondes comme expliqué dans la section II. Cette désinfection doit bien sûr être complémentaire au lavage en machine.

Deuxièmement, l'étude de la résistance à la diffusion d'une solution aqueuse semble indiquer que l'utilisation de plusieurs couches de tissus hydrophobes (mais laissant passer l'air) améliore drastiquement la résistance du masque. Cependant, certains tissus hydrophobes peuvent voir cette propriété altérée après un lavage en machine ou une désinfection au four à micro-ondes.

Troisièmement, nous avons montré que pour un masque réutilisable en tissu, une couche hydrophobe respirante insérée entre deux couches hydrophiles semble améliorer sensiblement la résistance du masque aux projections. Une amélioration non négligeable aux masques réutilisables en tissu consisterait dès lors à prévoir un espace central afin d'y placer une couche hydrophobe amovible et dès lors renouvelable. Le caractère hydrophobe d'un tissu peut facilement être visualisé en plaçant une goutte d'eau sur le tissu.

Enfin, une augmentation du nombre de couches au delà de 3 couches, bien qu'étant certainement bénéfique pour l'efficacité du masque, réduit également le caractère respirable de celui-ci.

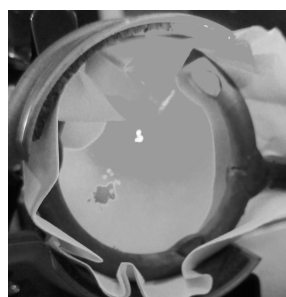
Il est important de souligner qu'une telle expérience n'est pas représentative du passage ou non d'un quelconque virus à travers le masque. La taille des mailles et le caractère hydrophobe des tissus sont sûrement prépondérants pour bloquer efficacement tout passage de solution aqueuse. Une analyse beaucoup plus poussée est nécessaire.

#### REMERCIEMENTS

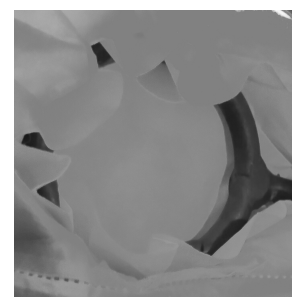
Nous tenons à remercier les membres de l'ECAM qui nous ont apporté leur soutien lors de cette recherche. Merci également à tous ceux qui nous ont fourni masques et tissus.

- [1] Nishimura H, Sakata S, Kaga A (2013). "A New Methodology for Studying Dynamics of Aerosol Particles in Sneeze and Cough Using a Digital High-Vision, High-Speed Video System and Vector Analyses". PLoS ONE 8(11): e80244.
- [2] Zielinski, Jakub and Przybylski, Jacek (2012). "How much water is lost during breathing?". Pneumonologia i alergologia polska, 80, 339-42.
- [3] Conseil Supérieur d'Hygiène (2006). "Recommandations en matière de stérilisation". n° 7848/1.
- [4] Duhem, P. (1898). "Traité Élémentaire de Mécanique Chimique Fondée sur la Thermodynamique". Librairie Scientifique A. Hermann, Paris, Tome II.

#### ANNEXES



Trace de fluoresceine pour le test avec le papier filtre.

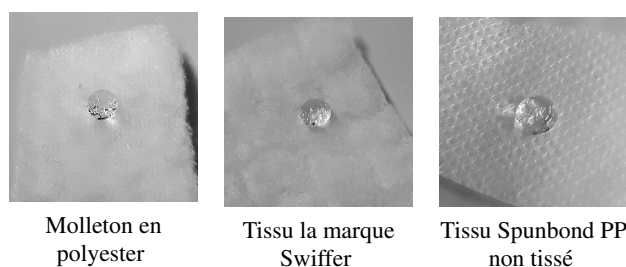


Absence de trace pour le test avec le masque chirurgical.

Figure 6: Photos représentant le passage ou non de la solution aqueuse.



Figure 7: Photos du dispositif expérimental utilisé pour le test de résistance à la diffusion d'une solution aqueuse.



Molleton en polyester

Tissu la marque Swiffer

Tissu Spunbond PP non tissé



Les 3 différents tissus composant un masque chirurgical, de l'intérieur (1) vers l'extérieur du masque (3). Le tissu central hydrophobe (2) transperce dès la première projection.

Figure 8: Test du caractère hydrophobe de différents tissus.

### Résultats expérimentaux concernant le test de résistance au passage de la solution aqueuse

Type de masque	Nb
A1 1 couche de tissu: molleton synthétique non tissé, Swiffer, essuie-tout, papier filtre, spunbond PP, tissu central masque chirurgical	1
A2 1 couche de tissu: molleton en polyester	2
B1 2 couches de tissus: 1 coton + 1 polyester	2
B2 2 couches de tissus: 2 x spunbond PP	4
C1 3 couches de tissus: 3 x spunbond PP	>20
C2 3 couches de tissus: 3 x 50% coton-50% polyester, sans pli	3
C3 3 couches de tissus: 1 coton + essuie-tout + 1 polyester	4
C4 3 couches: 1 coton + 1 spunbond PP + 1 polyester	8
C5 3 couches de tissus: 1 coton + 1 tissu Swiffer + 1 polyester	13
C6 3 couches: 1 coton + 1 molleton polyester + 1 polyester	>20
C7 3 couches de tissus: 1 polyester + 1 molleton polyester + 1 polyester	>20
D 3 couches hydrophobes (masque chirurgical)	>20

Table III: Nombre de projections (Nb) avant apparition de traces de fluoresceine sur la face arrière du papier filtre pour différents masques. Au-delà de 20 projections, les masques C6 et C7 ne présentaient pas de transpercement direct mais le liquide passait tout de même via le point d'attache inférieur. Le masque chirurgical D n'a quant à lui pas transpercé, même via les points d'attache.

### Résultats expérimentaux concernant le test de résistance au passage de la solution aqueuse après un lavage en machine à 90°C ou une désinfection au four à micro-ondes

Type de masque	Nb
C1' 3 couches de tissus, lavés en machine: 3 x spunbond PP	8
C1'' 3 couches de tissus, désinfectés au micro-ondes: 3 x spunbond PP	10
C6' 3 couches, lavés en machine: 1 coton + 1 molleton polyester + 1 polyester	>20

Table IV: Nombre de projections (Nb) avant apparition de traces de fluoresceine sur la face arrière du papier filtre.