

# **Pandémie COVID-19 et réutilisation des masques : revue bibliographique des méthodes de décontamination**

**K. Khoukh<sup>1</sup>, C. Dumas<sup>1</sup>, R. El Hssaini<sup>1</sup>, S. Bertin<sup>1</sup>, F. Bruno<sup>1</sup>**

**1. Pharmacie Delpech, Paris, France**

**30 mars 2020**

## **Introduction**

En France, le port du masque chirurgical pour prévenir la transmission n'est pas courant, contrairement aux pays d'Asie. Toutefois, depuis le début de l'épidémie de coronavirus, les pharmacies de l'Hexagone sont prises d'assaut, au point d'observer des ruptures de stock, y compris pour les personnels soignants des hôpitaux [1].

La pandémie de COVID-19 [2] a en effet entraîné une pénurie de matériel médical au niveau mondial, notamment des masques de protection.

Lors de l'épidémie de H1N1 de 2009, une situation similaire avait été observée. Des études avaient alors été menées pour évaluer la possibilité de décontaminer les masques, en vue de les réutiliser. Au cours du mois de mars 2020, plusieurs hôpitaux et universités ont publié leur protocole de stérilisation, avec un succès variable.

L'objectif de ce document est d'informer les professionnels de santé sur les résultats obtenus avec des méthodes pouvant facilement être mises en place à l'hôpital, en clinique ou à l'officine.

## **Le coronavirus**

Le nouveau coronavirus (SARS-CoV-2) est une souche de coronavirus responsable de la pathologie appelée COVID-19. Les coronavirus sont des virus à ARN responsables d'infections des voies respiratoires, du système gastro-intestinal et du système nerveux. Cette nouvelle souche a été pour la première fois identifiée dans la ville de Wuhan en Chine, en décembre 2019. Le virus s'est ensuite propagé de façon rapide à travers les différents continents. Il est principalement transmis par voie respiratoire et manuportée.

Sur la base de travaux [3, 4, 5] réalisés sur des souches proches du nouveau coronavirus (SARS-CoV et MERS-CoV), il est fortement suggéré que le virus responsable du COVID-19 peut être inactivé par la chaleur (56°C, 30 mn), le rayonnement UV et certains désinfectants : alcool, javel, peroxyde d'hydrogène. Il n'est pas inactivé par la chlorhexidine [6].

Ces éléments ont servi de base pour les méthodes de décontamination mises en place.

## Les masques

Dans le cadre d'une politique de prévention d'épidémie, deux catégories de masques sont utilisées :

### *Masque chirurgical*

Un masque chirurgical est un dispositif médical (norme EN 14683) destiné à éviter la projection vers l'entourage des gouttelettes émises par le porteur. Il protège également celui qui le porte contre les projections de gouttelettes émises par une autre personne. Toutefois, il ne protège pas contre l'inhalation des petites particules en suspension dans l'air. On distingue trois types de masques chirurgicaux :

Type I : efficacité de filtration bactérienne > 95 %.

Type II : efficacité de filtration bactérienne > 98 %.

Type IIR : efficacité de filtration bactérienne > 98 % et résistant aux éclaboussures.

### *Masque de protection filtrant*

Un masque FFP (*Filtering FacePiece*, littéralement « pièce faciale filtrante ») est un appareil de protection respiratoire (norme NF EN 149) destiné à protéger le porteur à la fois contre l'inhalation de gouttelettes et des particules en suspension dans l'air pouvant contenir des agents infectieux. Il existe trois catégories de masques FFP [7], classés selon l'efficacité de leur filtre. Ainsi, on distingue :

Les masques FFP1 filtrant au moins 80 % des aérosols.

Les masques FFP2 filtrant au moins 94 % des aérosols.

Les masques FFP3 filtrant au moins 99 % des aérosols.

Les normes européennes imposent des tests de filtration avec des aérosols de chlorure de sodium et d'huile de paraffine. Elles comprennent également des tests sur la résistance mécanique, la résistance respiratoire et le colmatage.

Il existe des correspondances entre les normes européennes et celles d'autres pays. Ainsi, les performances de filtration sont similaires entre les masques FFP2 (norme européenne EN 149), les masques N95 (norme américaine NIOSH 42C-FR84), les masques Korea 1st Class (norme coréenne KMOEL-2017-64), les masques KN95 (norme chinoise GB2626-2006), les masques DS2 (norme japonaise JMHLW-2000) et les masques P2 (norme australienne AS/NZS 1716:2012).

La plupart des masques étudiés dans cette revue bibliographique sont certifiés selon les normes américaines NIOSH [8], dont les caractéristiques sont résumées dans le Tableau 1.

Résistance à l'huile	Désignation	Description
Aucune résistance à l'huile	N95	Filtration d'au moins 95 % des particules en suspension
	N99	Filtration d'au moins 99 % des particules en suspension
	N100	Filtration d'au moins 99,97 % des particules en suspension
Résistant à l'huile jusqu'à 8h	R95	Filtration d'au moins 95 % des particules en suspension
	R99	Filtration d'au moins 99 % des particules en suspension
	R100	Filtration d'au moins 99,97 % des particules en suspension
Résistant à l'huile	P95	Filtration d'au moins 95 % des particules en suspension
	P99	Filtration d'au moins 99 % des particules en suspension
	P100	Filtration d'au moins 99,97 % des particules en suspension

**Tableau 1 : Normes américaines du *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) définissant les catégories de filtres à particules**

## Méthodes de décontamination

### Chaleur sèche

Les protocoles de décontamination par chaleur sèche et les modèles de masques utilisés sont listés dans le Tableau 2.

Les travaux réalisés par Viscusi *et al.* [9] dans le cadre de la pandémie de grippe H1N1 ont montré une bonne résistance des masques N95 (équivalent FFP2) à la chaleur sèche, jusqu'à 80°C pendant 1h.

Plus récemment, une étude chinoise [10] a décrit deux méthodes permettant de décontaminer un masque chirurgical. Après avoir placé le masque dans un sachet plastique alimentaire pour éviter la dissémination, l'auteur applique la chaleur d'un sèche-cheveux (70°C, 30 mn). Les tests de filtration effectués montrent un maintien des performances, avec une décontamination efficace mesurée par PCR (> 99,999% sur virus Influenza). Le passage du même type de masque à l'étuve (56°C, 30 mn) a montré un maintien des propriétés filtrantes mais une décontamination partielle (90%).

L'utilisation de la chaleur sèche a également été suggérée par l'Université de Stanford [11], concluant qu'un traitement de 30 mn à 70°C permettait de maintenir les propriétés filtrantes sur deux types de masques N95 (microfibres fondues-soufflées et coton chargé), tout en exerçant une décontamination > 99% sur *E. Coli*. Les auteurs proscrivent toutefois l'usage domestique de cette technique.

Bien que la chaleur sèche apparaisse comme une méthode efficace de décontamination et facile à mettre en place, les conséquences de cycles répétés sur les performances du masque ne sont pas documentées.

Méthode	Modèles	Test	Résultats	Remarques	Réf.
<b>Chaleur sèche (80°C, 1h, Isotemp 500 Series (Fisher Scientific, Pittsburgh, PA, USA)</b>	Filtres électret. N95 FFR (N95-A, N95-B & N95-C) ; N95 chirurgicaux (SN95-D, SN95-E & SN95-F)] - US Strategic National Stockpile (SNS). P100 FFR (P100-G, P100-H & P100-I. Commerciaux. Fournisseur non renseigné.	- Aspect - Test de filtration (NIOSH)	- Résultats conformes sur tous les modèles. - Pas de perte de filtration. - Pas de déformation d'aspect.	-	[9]
<b>Chaleur sèche (sèche-cheveux 70°C, 30 mn, masque ensaché dans film alimentaire)</b>	ASTM F2100, équivalent à YY0469-2011	- Aspect - Test de filtration sur PM2.5 - PCR sur H1N1	- Pas de déformation visible. - Pas de perte de filtration. - Inactivation à > 99,9999%.	- Risque d'aérosolisation du virus si mal effectué	[10]
<b>Chaleur sèche (56°C, 30 mn)</b>			- Pas de déformation visible. - Pas de perte de filtration. - Inactivation partielle (≈ 90%).	-	
<b>Chaleur sèche (70°C, 30 mn)</b>	- N95 microfibres fondues-soufflées - N95 Coton chargé	- Test de filtration - Mesure de la décontamination sur E. Coli	- Résultats conformes	- Manque d'infos sur les modèles et les protocoles	[11]

**Tableau 2 : Protocoles de décontamination par chaleur sèche**

## Chaleur humide

Les protocoles de décontamination par la chaleur humide et les modèles de masques utilisés sont listés dans le Tableau 3.

### *Pasteurisation*

Dans une étude effectuée en 2010 [12], Viscusi *et al.* utilisent un procédé de pasteurisation (60°C, 80%HR, 30 mn) sur plusieurs modèles de masques N95 (équivalent FFP2). La méthode a entraîné une déformation irréversible sur tous les échantillons des modèles SN95-E.

### *Autoclave*

En 2017, une étude taiwanaise [13] décrit une méthode de décontamination par autoclave (121°C, 15 mn) sur des masques N95 (équivalent FFP2) et des masques chirurgicaux en gaze.

Sur les deux modèles, le procédé a entraîné des déformations visibles, provoquant elles-mêmes des altérations des performances. Toutefois, la publication ne précise pas si le masque était conservé dans un sachet.

En mars 2020, l'Université de Technologie de Delft [14] indique que des essais de décontamination par autoclave (134°C) dans des hôpitaux néerlandais avaient abouti à une déformation des masques, ainsi qu'à une perte de résistance de l'élastique. Néanmoins, les auteurs décrivent un procédé avec davantage de succès. Les masques FFP2 (3M Aura 1862+) sont placés dans un sac laminé imperméable puis soumis à 15 mn de chaleur humide 121°C, suivi d'un séchage. Lors d'un test à l'aveugle, deux utilisateurs étaient incapables de distinguer les masques neufs des masques décontaminés. Un test de perméabilité sur *S. epidermidis* et des tests de filtration ont été réalisés, ne montrant pas de différence significative avant et après cinq cycles de décontamination.

Face à la variabilité des résultats obtenus, il est probable que l'efficacité de la décontamination par autoclave soit très étroitement liée aux modèles de masques et à leur structure intrinsèque. L'usage d'un sac de stérilisation imperméable apparaît bénéfique. En cas de déformation visible après traitement à l'autoclave, les masques ne devraient pas être réutilisés.

Méthode	Modèles	Test	Résultats	Remarques	Réf.
<b>Pasteurisation (60°C, 80% HR, 30 mn, puis séchage une nuit) Incubateur Caron model 6010 (Marietta, OH).</b>	Filtres électret. N95 FFR (N95-A, N95-B & N95-C) ; N95 chirurgicaux (SN95-D, SN95-E & SN95-F)] - US Strategic National Stockpile (SNS). P100 FFR (P100-G, P100-H & P100-I. Commerciaux. Fournisseur non renseigné.	- Aspect - Test de filtration	- Déformation irréversible.	-	[12]
<b>Autoclave 121°C 15 mn</b>	- N95 FFR (Dust respirator 8210, 3M, St Paul, MN) - Gaze chirurgicale double couche électret (modèle commercial, fabricant inconnu, Chine) - Textile non-tissé (Spunlace, Oimo, Taiwan)	- Aspect - Test de filtration	- Déformation irréversible. - Perte de filtration.	- Pas de précision sur l'ensachement du masque.	[13]
<b>Autoclave Modèle Gettinge 121°C 15 mn Masque ensaché (sac imperméable laminé Halyard type CLFP150X300WI-S20)</b>	FFP2 Aura 1862+ 3M	- Aspect - Test de filtration - Test de perméabilité sur <i>S. epidermidis</i>	- Résultats conformes après 5 cycles de stérilisation.	-	[14]

**Tableau 3 : Protocoles de décontamination par chaleur humide**

## Irradiation UV

Les protocoles de décontamination par UV et les modèles de masques utilisés sont listés dans le Tableau 4.

Des études [15, 16] ont déjà montré que l'irradiation UV-C à  $1 \text{ J/cm}^2$  permettait d'inactiver le virus Influenza sur des masques N95 (équivalent FFP2) et des expositions à  $5 \text{ mJ/cm}^2$  pouvaient inactiver des souches de coronavirus sur des surfaces.

En se basant sur ces travaux, un hôpital du Nebraska [17] a mis en place en mars 2020 un circuit de décontamination de ses masques N95 (3M type Aura 1860) par irradiation UV, avec un cycle de 6 mn, à  $300 \text{ mJ/cm}^2$ . La dose UV ( $\text{J/cm}^2$ ) résulte du produit entre l'intensité UV ( $\text{W/cm}^2$ ) et le temps d'exposition UV (s). Ainsi, l'exposition à une lampe d'intensité  $1 \text{ mW/cm}^2$  pendant 1 seconde fournira une dose UV de  $1 \text{ mJ/cm}^2$ .

Concernant la résistance du masque, une étude [18] a montré que des modèles N95 tels que ceux utilisés dans cet hôpital ne perdaient pas leurs performances filtrantes, avec des doses UV allant jusqu'à  $950 \text{ J/cm}^2$ .

En outre, les travaux de Viscusi *et al.* [12] avaient déjà démontré l'absence d'altération de plusieurs modèles N95 (équivalent FFP2) après trois cycles de 15 mn à  $1,8 \text{ mW/cm}^2$ .

L'irradiation UV apparaît donc comme une méthode efficace, à condition de disposer du matériel capable d'apporter une dose UV suffisante ( $5 \text{ mJ/cm}^2$ ). L'Université de Stanford [11] décrit également la décontamination UV comme une méthode sûre et efficace mais souligne néanmoins l'absence de données sur la répétition des cycles.

Méthode	Modèles	Test	Résultats	Remarques	Réf.
Lampe UV 30 mn	- N95 microfibres fondues-soufflées - N95 Coton chargé	- Test de filtration - Mesure de la décontamination sur <i>E. Coli</i>	- Résultats conformes	- Manque d'infos sur les modèles et les protocoles	[11]
Lampe UV UV Bench Lamp (UV-C, 254 nm, 40 W), Model XX-40S (UVP, LLC, Upland, CA). 15 mn, $1,8 \text{ mW/cm}^2$	Filtres électret. N95 FFR (N95-A, N95-B & N95-C) ; N95 chirurgicaux (SN95- D, SN95-E & SN95-F) - US Strategic National Stockpile (SNS). P100 FFR (P100-G, P100- H & P100-I. Commerciaux. Fournisseur non renseigné.	- Aspect - Test de filtration	- Résultats conformes sur 3 cycles (3x15 mn) - Pas d'altération physique. - Maintien des propriétés filtrantes.	-	[12]
Lampe UV (254 nm, 300 $\text{mJ/cm}^2$ , 6 mn)	N95 Aura 1862+ 3M	-	-	-	[17]

**Tableau 4 : Protocoles de décontamination par irradiation UV**

## Solvants

Les protocoles de décontamination par immersion dans des solvants et les modèles de masques utilisés sont listés dans le Tableau 5.

Le trempage dans divers solvants désinfectants tels que l'éthanol, l'isopropanol, l'eau de javel ou l'eau oxygénée a entraîné soit une altération physique du masque [12, 13], soit une perte des propriétés filtrantes, principalement par dissipation des charges électrostatiques [11].

A la lumière de ces travaux ainsi que d'éléments publiés par la société 4C Air<sup>®</sup>, l'Université de Stanford [11] déconseille également l'immersion dans l'alcool et l'eau de javel.

Méthode	Modèles	Test	Résultats	Remarques	Réf.
Immersion dans l'éthanol 75°	- N95 microfibras fondues-soufflées - N95 Coton chargé	- Test de filtration - Mesure de la décontamination sur <i>E. Coli</i>	- Décontamination efficace - Perte importante de filtration	- Manque d'infos sur les modèles et les protocoles	[11]
Immersion dans H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 6% 30 mn	Filtres électret. N95 FFR (N95-A, N95-B & N95-C) ; N95 chirurgicaux (SN95-D, SN95-E & SN95-F) - US Strategic National Stockpile (SNS). P100 FFR (P100-G, P100-H & P100-I. Commerciaux. Fournisseur non renseigné.	- Aspect - Test de filtration	- Déformation du masque	-	[12]
Immersion dans isopropanol 100% 10mn	- N95 FFR (Dust respirator 8210, 3M, St Paul, MN) - Gaze chirurgicale double couche électret (modèle commercial, fabricant inconnu, Chine)	- Aspect - Test de filtration	- Perte des propriétés électrostatiques	-	[13]
Immersion dans l'éthanol 70° 10 mn	- Textile non-tissé (Spunlace, Oimo, Taiwan)		- Perte des propriétés électrostatiques	-	
Immersion dans javel 0,5% 10 mn			- Destruction du masque chirurgical. - Perte de filtration sur N95	-	

**Tableau 5 : Protocoles de décontamination par immersion dans un solvant désinfectant**

## Micro-ondes

Les protocoles de décontamination par les micro-ondes et les modèles de masques utilisés sont listés dans le Tableau 6.

Lors de la première étude menée par Viscusi *et al.* [9], l'irradiation aux micro-ondes a entraîné la fonte de certaines parties des masques, ainsi que des étincelles dues à la tige métallique du bandeau nasal. Dans une autre publication sur des modèles identiques [12], les mêmes auteurs ont alors testé les micro-ondes avec le masque immergé dans de l'eau courante. Bien que cette méthode ait résolu la génération d'étincelles, elle a entraîné la déformation irréversible des modèles SN95-D et SN95-E.

Sur la base des mêmes publications, l'Université de Stanford [11] déconseille également les micro-ondes.

Méthode	Modèles	Test	Résultats	Remarques	Réf.
<b>Micro-ondes 2450 MHz, Sharp Model R-305KS (Sharp Electronics, Mahwah, NJ, USA). 1100 W. 2 mn</b>	Filtres électret. N95 FFR (N95-A, N95-B & N95-C) ; N95 chirurgicaux (SN95-D, SN95-E & SN95-F) - US Strategic National Stockpile (SNS). P100 FFR (P100-G, P100-H & P100-I. Commerciaux. Fournisseur non renseigné.	- Aspect - Test de filtration	- Destruction partielle des SN95-E et P100-I. - Etincelles avec la tige métallique du bandeau nasal.	-	[9]
<b>Micro-ondes 2450 MHz, Sharp Model R-305KS (Sharp Electronics, Mahwah, NJ, USA). 1100 W. 2 mn. Masque immergé dans l'eau courante.</b>	Filtres électret. N95 FFR (N95-A, N95-B & N95-C) ; N95 chirurgicaux (SN95-D, SN95-E & SN95-F) - US Strategic National Stockpile (SNS). P100 FFR (P100-G, P100-H & P100-I. Commerciaux. Fournisseur non renseigné.	- Aspect - Test de filtration	- Destruction partielle sur SN95-D et SN95-E.	-	[12]

**Tableau 6 : Protocoles de décontamination par micro-ondes**

## Synthèse

Les résultats obtenus par les différentes méthodes sont synthétisés et commentés dans le Tableau 7 :

Méthode	Avis	Remarques
Chaleur sèche (70°C, 30 mn)		Pas de données sur des cycles répétés.
Irradiation UV (minimum 5 mJ/cm <sup>2</sup> )		Pas de données sur plus de trois cycles.
Autoclave		Résultats variables. 15 mn à 121°C plutôt que 134°C. Utiliser un sac imperméable. Ne pas utiliser si déformation physique du masque.
Pasteurisation		Altération physique et des propriétés filtrantes.
Micro-ondes		Altération physique et des propriétés filtrantes.
Immersion dans solvants		Altération physique et des propriétés filtrantes.

**Tableau 7 : Synthèse des résultats obtenus par les différentes méthodes de décontamination**

## Conclusion

Pour faire face à la pénurie, plusieurs méthodes de décontamination des masques ont été étudiées dans la perspective de leur réutilisation.

Compte-tenu de la grande diversité de fournisseurs et de 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. Néanmoins, il apparaît que certaines méthodes sont à proscrire, quels que soient les modèles : le trempage dans des solvants désinfectants (éthanol, javel) entraîne quasi systématiquement une altération physique du masque ou, au mieux, une perte de filtration. Des résultats similaires sont obtenus avec l'irradiation par micro-ondes.

D'autres méthodes, comme l'autoclave, montrent des résultats variables. Un protocole de 15 mn à 121°C, répété jusqu'à cinq fois, a montré de bons résultats sur un masque FFP2 conservé dans un sachet imperméable.

Les méthodes montrant les meilleurs résultats sont la chaleur sèche (70°C, 30 mn) et l'irradiation UV (minimum 5 mJ/cm<sup>2</sup>). Cependant, les données sur la répétition de ces méthodes, au-delà de trois cycles, ne sont pas disponibles.

Idéalement, chaque structure devrait valider un protocole de décontamination, avec ses propres masques. Quelle que soit la méthode employée, si le procédé de décontamination entraîne une déformation visible du masque, ce dernier ne devrait pas être réutilisé.

Il est rappelé que la décontamination et la réutilisation de masques à usage unique n'est pas recommandée par les autorités de santé. Elle représente une solution alternative en l'absence d'autres solutions viables pour faire face à la pénurie de masques. La décontamination des masques ne dispense pas des mesures de protection recommandées, telles que l'hygiène des mains et la distanciation sociale.

En raison du manque de recul sur une décontamination répétée, la réutilisation de masques stérilisés est déconseillée chez les personnels soignants directement au contact de patients infectés par le COVID-19. En revanche, le recyclage des masques représente une solution alternative crédible pour les professionnels de santé moins exposés : pharmacies, personnels non soignants des hôpitaux, personnels soignants non au contact de patients confirmés, cabinets vétérinaires...

## Références

- [1] COVID-19 : Stratégie de gestion et d'utilisation des masques de protection. Communiqué de presse d'Olivier VERAN. <https://solidarites-sante.gouv.fr/actualites/presse/communiqués-de-presse/article/covid-19-strategie-de-gestion-et-d-utilisation-des-masques-de-protection>. 13 mars 2020. Récupéré le 30 mars 2020.
- [2] Allocution liminaire du Directeur général de l'OMS lors du point presse sur la COVID-19 - 11 mars 2020. <https://www.who.int/fr/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>. Récupéré le 30 mars 2020.
- [3] Sun, C. B., Wang, Y. Y., Liu, G. H., & Liu, Z. (2020). Role of the Eye in Transmitting Human Coronavirus: What We Know and What We Do Not Know.
- [4] Duan, S. M., Zhao, X. S., Wen, R. F., Huang, J. J., Pi, G. H., Zhang, S. X., ... & Dong, X. P. (2003). Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation. *Biomedical and environmental sciences: BES*, 16(3), 246-255.
- [5] Henwood, A. F. (2020). Coronavirus disinfection in histopathology. *Journal of Histotechnology*, 1-3.
- [6] Rabenau, H. F., Cinatl, J., Morgenstern, B., Bauer, G., Preiser, W., & Doerr, H. W. (2005). Stability and inactivation of SARS coronavirus. *Medical microbiology and immunology*, 194(1-2), 1-6.
- [7] NF EN 149+A1 Septembre 2009 Appareils de protection respiratoire - Demi-masques filtrants contre les particules - Exigences, essais, marquage.
- [8] NIOSH-Approved Particulate Filtering Facepiece Respirators [archive], Centres pour le contrôle et la prévention des maladies (CDC).
- [9] Viscusi, D. J., Bergman, M. S., Eimer, B. C., & Shaffer, R. E. (2009). Evaluation of five decontamination methods for filtering facepiece respirators. *Annals of occupational hygiene*, 53(8), 815-827.
- [10] Song W., Pan B., Kan H. (2020). Evaluation of heat inactivation of virus contamination on medical mask. *Journal of microbes and infections*, 15(1), 31-35.
- [11] Price, Amy; Chu, Larry (2020-03-25). "Addressing COVID-19 Face Mask Shortages [v1.2] : Can Facial Masks be Disinfected for Re-use?". stanfordmedicine.app.box.com. Stanford University Anesthesia Informatics and Media Lab, COVID-19 Evidence Service Report. p. 5. Récupéré le 30 mars 2020.

- [12] Bergman, M. S., Viscusi, D. J., Heimbuch, B. K., Wander, J. D., Sambol, A. R., & Shaffer, R. E. (2010). Evaluation of multiple (3-cycle) decontamination processing for filtering facepiece respirators. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 5(4).
- [13] Lin, T. H., Chen, C. C., Huang, S. H., Kuo, C. W., Lai, C. Y., & Lin, W. Y. (2017). Filter quality of electret masks in filtering 14.6–594 nm aerosol particles: Effects of five decontamination methods. *PloS one*, 12(10).
- [14] de Man, P., van Straten, B. J., van den Dobbelsteen, J. J., van der Eijk, A., Horeman, T., & Koeleman, H. (2020). Sterilization of disposable face masks by means of dry and steam sterilization processes: an alternative in case of acute mask shortages due to COVID-19.
- [15] Mills, D., Harnish, D. A., Lawrence, C., Sandoval-Powers, M., & Heimbuch, B. K. (2018). Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American journal of infection control*, 46(7), e49-e55.
- [16] Tseng, C. C., & Li, C. S. (2007). Inactivation of viruses on surfaces by ultraviolet germicidal irradiation. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 4(6), 400-405.
- [17] Lowe, J. J., Paladino, K. D., Farke, J. D., Boulter, K., Cawcutt, K., Emodi, M., ... & Schwedhelm, S. (2020). *N95 filtering facemask respirator ultraviolet germicidal irradiation (uvgi) process for decontamination and reuse*. Tech. Rep., Nebraska Medicine.
- [18] Lindsley, W. G., Martin Jr, S. B., Thewlis, R. E., Sarkisian, K., Nwoko, J. O., Mead, K. R., & Noti, J. D. (2015). Effects of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) on N95 respirator filtration performance and structural integrity. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 12(8), 509-517