



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.

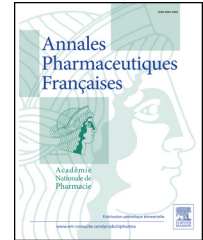


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



REVUE GÉNÉRALE

Filtres respiratoires à l'hôpital, l'expérience de la première vague de COVID

Breathing filters in hospital, COVID first-wave experience

Elsa Reallon^{a,b,*}, Hugo Laujin^c, Vincent Cadiergue^c,
Anne Sainfort-Gallier^b

^a Université Claude Bernard Lyon 1, France

^b Service Pharmacie, Centre Hospitalier Ardèche Nord, 07100 Annonay, France

^c Service Réanimation, Centre Hospitalier Ardèche Nord, 07100 Annonay, France

Reçu le 19 mars 2021 ; accepté le 27 avril 2021

Disponible sur Internet le 30 avril 2021

HIGHLIGHTS

- Un filtre est mécanique (micropores) ou électrostatique (charges ioniques).
- Un FECH se compose d'une partie filtre et d'une partie humidificateur.
- Le choix du filtre dépend de son indication (anesthésie, réanimation).
- Pour les patients COVID+ ventilés, un FECH et un filtre machine est nécessaire.

MOTS CLÉS

Filtres respiratoire ;
Dispositifs médicaux ;
COVID ;
Réanimation

Résumé Dans le cadre de la pandémie de coronavirus, les filtres respiratoires ont été une pierre angulaire de la prise en charge des patients infectés. La sollicitation mondiale a provoqué une rupture ce qui a nécessité de multiplier les références utilisées. Le peu de formation disponible sur le sujet a été un obstacle pour les utilisateurs (acheteurs, dispositifs médicaux, réanimation) et il nous a paru nécessaire de rédiger une formation concernant ces filtres, à partir des connaissances acquises pendant la crise sanitaire. Il existe de multiples références de filtres respiratoires, que l'on peut classer par leur mécanisme de filtration (filtration mécanique ou électrostatique) et par la présence ou non d'une action humidifiante (filtre échangeur de chaleur et d'humidité hydrophobe, hygroscopique ou mixte). En anesthésie, on privilégie l'utilisation de filtre mécanique simple ; en réanimation on utilise des filtres échangeurs de chaleur et

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : elsa.reallon@laposte.net (E. Reallon).

d'humidité ou un filtre simple associé à un humidificateur chauffant. Lors de l'épidémie de coronavirus, la durée d'utilisation des filtres a été allongée afin de limiter le risque de rupture. © 2021 Académie Nationale de Pharmacie. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Breathing filters;
Medical device;
COVID;
Resuscitation unit

Summary During the coronavirus pandemic, breathing filters have been essential in the medical care of infected patients. The worldwide demand caused a disruption in the supply, which led to a multiplication of the references used. The lack of formation available on the subject was an impediment for pharmacists (buyer, medical devices, intensive care unit) and it appears to be necessary to redact a formation about those filters, from the experience acquired during the sanitary crisis. Multiple breathing filters references exist which may be classify according to their filtration mechanism (mechanical filtration or electrostatic filtration) and by the eventual presence of a humidifying action (Heat and Moisture Exchangers; hydrophobic, hygroscopic, or mixed). In anaesthesia, the use of pure mechanical filter is preferred; in resuscitation unit, heat and moisture exchangers filter or simple filter plus heated humidifier are used. During the COVID-19 pandemic, the filters duration of use has been lengthened to limit the disruption risk. © 2021 Académie Nationale de Pharmacie. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Introduction

Les filtres utilisés avec les ventilateurs d'anesthésie ou de réanimation sont des dispositifs médicaux (DM) dont le rôle dans la prise en charge du patient est crucial. Leur utilité ne doit pas être sous-estimée, tant pour la santé du patient que pour la sécurité du personnel soignant. La difficulté dans la gestion des filtres réside principalement dans la multiplicité des références, des normes, des processus techniques, des indications ainsi que des acheteurs dans les établissements de santé (pour exemple la pharmacie à usage intérieur, le service économat et/ou le service biomédical). À cela s'ajoute le peu de formation disponible dans la littérature scientifique (quelques articles assez anciens) [1,2].

L'existence des filtres s'est avérée primordiale à l'émergence de la crise du Coronavirus, où il a fallu rationaliser leur utilisation mais également trouver de nouvelles références afin de pallier les tensions d'approvisionnements mondiales. L'objectif de ce travail est donc de fournir les bases indispensables afin d'identifier les différents types de filtres et de répondre de manière efficiente aux besoins des équipes de réanimation et d'anesthésie.

Les filtres respiratoires disponibles dans les établissements de santé se divisent en deux catégories de filtres :

- les filtres dits « machine » ;
- les filtres dits « patients ».

Dans un premier temps seront présentés les filtres machines (FM), et les grands mécanismes de la filtration seront expliqués. Une seconde partie développera les filtres patients aussi appelés filtres échangeurs de chaleur et d'humidité (FECH). Une troisième partie évoquera les indications de ces filtres dans les établissements de soins. Enfin, la dernière partie de ce travail illustrera la gestion de ces

filtres au cœur de la première épidémie en France liée au SARS-CoV-2 (premier semestre 2020).

Mécanismes de filtration

Les patients intubés et ventilés, en réanimation ou en anesthésie, sont privés de leur capacité respiratoire, à moyen ou long terme. Il faut alors mettre en place des mesures pour mimer l'action physiologique du corps humain lors du processus de respiration : le filtre en fait partie. En effet, son objectif principal est de stopper les microparticules présentes dans l'air inspiré ou expiré. Il a donc une triple fonction protectrice, tout d'abord de pour le patient (éviter l'inspiration de microorganismes potentiellement contaminant), mais aussi pour l'environnement (éviter l'excrétion de microorganismes contaminants par le patient) et enfin pour les respirateurs (éviter que les parties électroniques de l'appareil soient souillées). Pour parvenir efficacement à cette action barrière, les industriels ont créé deux mécanismes de filtration différents : la filtration mécanique et la filtration électrostatique.

Les grands mécanismes de filtration sont décrits ci-dessous.

Filtration mécanique

Cette technique repose sur une base physique : le filtre se présente sous la forme d'une membrane microporeuse repliée sur elle-même en accordéon. Ainsi lors du passage du flux d'air, les particules transportées seront retenues sur le filtre par trois mécanismes distincts :

- Le tamisage : interception directe des grosses particules de plus d'1 μm par la membrane ;

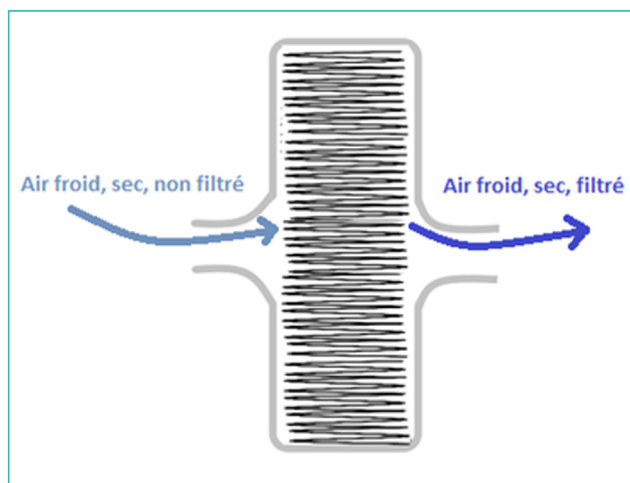


Figure 1. Filtre mécanique.
Mechanical filter.

- L'impaction : collision due à l'inertie et aux changements de direction du courant gazeux pour les particules de 0,5 à 1 μm ;
- La diffusion : mouvement brownien aléatoire aboutissant à une rétention des particules de moins de 0,5 μm [3].

Du fait de la conformation repliée de la membrane, les filtres mécaniques ont des propriétés hydrophobes importantes, ils sont assez épais pour retenir les particules d'eau et le plus souvent rectangulaires (*plus de facilité pour effectuer l'accordéon*). Pour confirmer une identification visuelle, la fiche technique et l'étiquetage adéquats du filtre s'avèrent fondamentaux (Fig. 1).

Filtration électrostatique

Il s'agit ici de la superposition de deux membranes poreuses composées de fibres possédant des charges ioniques opposées. Les particules seront alors retenues selon leur propre charge sur les fibres de charge contraire (Fig. 2).

Les filtres machines (FM)

Les filtres machines (FM) ont pour fonction de protéger les respirateurs en se plaçant sur la branche expiratoire afin de bloquer les particules émanant du patient et susceptible de souiller la machine. Cela permettra donc de protéger l'environnement et les soignants en cas de patient contagieux. Ces filtres sont préférentiellement mécaniques car leur propriété hydrophobe est importante pour éviter de « noyer » la cellule à oxygène du respirateur.

Physiologie respiratoire

Lors d'une inspiration physiologique, l'air extérieur est réchauffé et humidifié avant d'atteindre les bronches. En effet, si l'air inspiré a une température de 20 °C et une humidité relative (HR) de 50 %, l'air alvéolaire est lui à 37 °C et HR = 100 % [3].

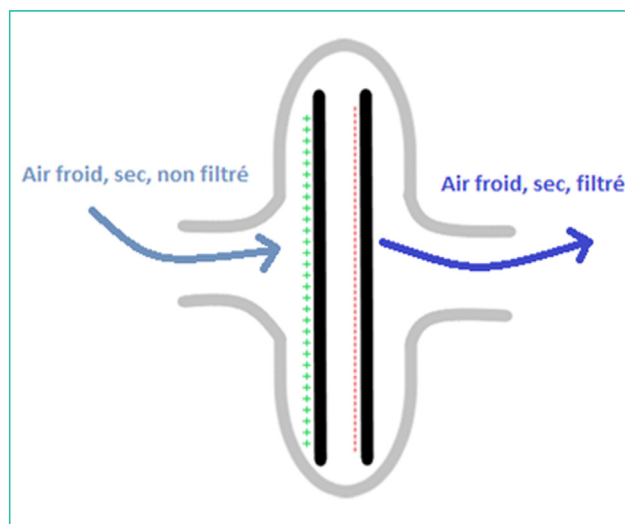


Figure 2. Filtre électrostatique.
Electrostatic filter.

Cette humidification et prise de chaleur est assurée par les cellules présentes tout au long du tractus respiratoire. Ces dernières vont dépenser énormément d'énergie pour obtenir un air ayant une température et une humidité comparable aux cellules environnantes. Le bilan hydrique et thermique des cellules du nez, du pharynx et des bronches est déficitaire jusqu'à la limite de saturation isothermique (*isothermic saturation boundary ISB*) située entre la deuxième et la troisième division bronchique, à partir de laquelle l'air inspiré et les cellules ont la même température et humidité.

Lorsqu'un patient est connecté à un ventilateur, la sonde d'intubation court-circuite toute action des cellules du nez et du pharynx, ainsi l'air distribué arrive sec et froid dans les bronches du patient. On peut également rajouter à cela que les gaz médicaux sont conditionnés en bouteilles, froids et secs. Si cet air arrivait tel quel au patient, plusieurs événements indésirables surviendraient : hypothermie, diminution de la compliance pulmonaire, atélectasie, désaturation artérielle, hausse du shunt intra pulmonaire. ... Il est donc important de réchauffer et d'humidifier l'air avant administration au patient.

Les filtres échangeurs de chaleur et d'humidité (FECH)

Les filtres dits « patients » ont pour rôle non seulement de filtrer et donc de limiter la contamination des circuits, mais également de réchauffer et d'humidifier les gaz inspirés afin de protéger les voies aériennes. Ces filtres sont nommés Filtres Echangeurs de Chaleur et d'Humidité (FECH) ou encore Filtres HME (Heat and Moisture Exchangers) en version anglophone.

Un FECH est avant tout un filtre, mécanique ou électrostatique, auquel on ajoute une partie pour l'humidification. La partie filtre ayant déjà été développée plus haut, nous nous intéresserons ici à la partie humidificateur, qui se classe en deux catégories : hydrophobe ou hygroscopique.

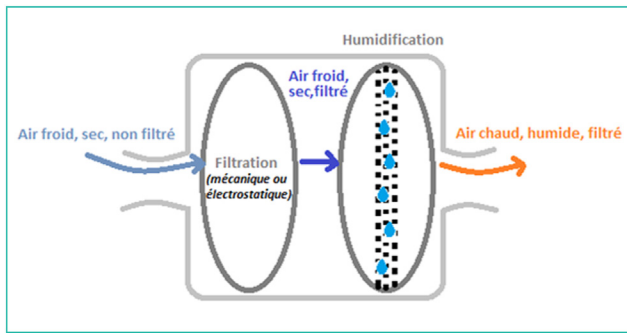


Figure 3. FECH hydrophobe.
Hydrophobic HME filter.

FECH hydrophobe

Le compartiment humidificateur se compose d'une membrane poreuse hydrophobe qui retient l'eau sous forme condensée lors de l'expiration du patient au niveau de la face interne du filtre (côté patient) et lui restitue sous forme vaporisée à l'inspiration. On estime que le filtre atteint son efficacité d'humidification au bout de 20 minutes.

Le matériau utilisé, souvent le métal, a une chaleur spécifique très faible donc supporte de grosses variations de température [3]. Du fait des changements d'état de l'eau (gazeuse à l'expiration, condensée sur le filtre, puis revaporisée à l'inspiration), ce mécanisme implique une consommation d'énergie importante. Ainsi, la chaleur emmagasinée à l'expiration est en partie consommée pour revaporiser l'eau condensée. Les capacités de réchauffement de l'air sont donc diminuées (Fig. 3).

FECH hygroscopique

Le compartiment humidificateur comprend un matériau condenseur sous forme de mousse synthétique, de laine ou de papier, imbibé d'une substance hygroscopique comme le chlorure de calcium, de magnésium, d'aluminium ou de lithium. Lors de l'expiration du patient, la vapeur d'eau sera retenue et restituée à l'inspiration, sans changement d'état donc sans consommation d'énergie. La chaleur emmagasinée par le filtre est donc uniquement utilisée pour réchauffer les gaz médicaux inspirés. Il faudra là aussi un délai de 10 à 30 minutes avant d'atteindre un rendement d'humidification optimal (Fig. 4).

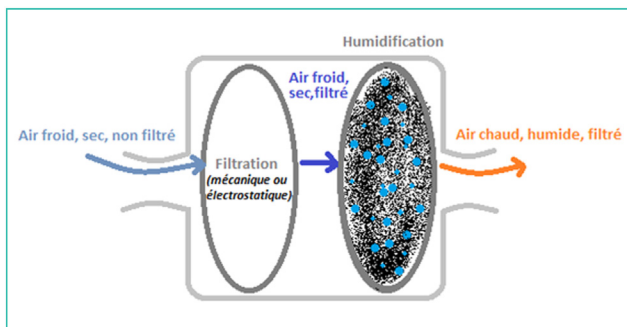


Figure 4. FECH hygroscopique.
Hygroscopic HME filter.

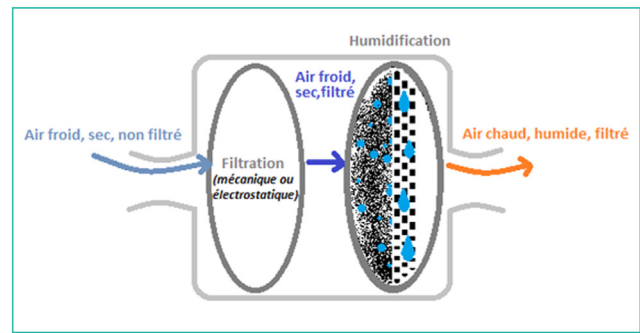


Figure 5. FECH mixte.
Mixed HME filter.

FECH mixte

Il se compose à la fois d'une membrane filtrante poreuse et d'un matériau condenseur, faisant fonction d'éponge. La partie hydrophobe est côté patient : de l'eau sous forme condensée est retenue à l'expiration, puis la vapeur d'eau restante sera retenue par la partie hygroscopique située juste après. À l'inspiration, la vapeur d'eau sur la partie hygroscopique sera chauffée grâce à la chaleur emmagasinée et va revaporiser l'eau condensée de la partie hydrophobe (Fig. 5).

Quel filtre pour quelle indication ?

Anesthésie

Les patients d'anesthésie sont intubés et ventilés pendant une courte durée, qui est celle de l'intervention chirurgicale. Dans une journée de bloc opératoire, le ventilateur est utilisé plusieurs fois de suite, mais sur plusieurs patients différents. Un circuit peut même être utilisé pour plusieurs patients dans une même journée. Il est donc très important de filtrer l'air administré au patient, avec un filtre par patient, afin d'éviter les contaminations croisées.

La durée de la ventilation étant faible, le risque de lésions dues à la sécheresse de l'air administré est considéré comme faible, il n'est donc pas utile d'humidifier l'air inspiré. On s'orientera donc vers un filtre pur. Reste maintenant à choisir vers quel type de filtration s'orienter. Ici, du fait de l'utilisation multi-patient d'un ventilateur, une filtration mécanique et hydrophobe est privilégiée afin de préserver au maximum les appareils des contaminations provenant du patient. Les filtres à haute efficacité dits HEPA (acronyme de l'anglais High-Efficiency Particulate Air) sont donc recommandés.

En effet, les filtres électrostatiques purs laissent passer un peu d'humidité, qui pourrait venir souiller le circuit du ventilateur d'anesthésie. Les filtres mécaniques quant à eux, ont de fortes propriétés hydrophobes, ce qui leur permet de protéger les machines. Ils sont d'ailleurs communément appelés « filtres machines » même si dans cette indication précise (anesthésie), ils sont utilisés sur le circuit côté patient.

Les filtres d'anesthésie peuvent présenter un port luer protégé par un petit capuchon pour connexion capnographie

(dit « prise capno ») qui permet de monitorer le CO₂. Ce monitoring peut également être réalisé par exemple au niveau du circuit sur un raccord type Y, en fonction des habitudes des praticiens.

Réanimation

Les patients de réanimation sont intubés et ventilés pour une durée inconnue au départ, mais qui peut s'avérer longue. Le ventilateur est conservé pour le même patient pendant toute la durée de la ventilation, néanmoins la filtration de l'air administré est tout de même importante afin de protéger l'environnement et l'intégrité du ventilateur. De plus, il s'avère primordial d'humidifier l'air administré afin de minimiser les lésions au niveau des cellules bronchopulmonaires. On s'orientera donc pour ces patients vers un FECH ou un filtre pur associé à un humidificateur chauffant.

À noter que pour certains patients, sans risque d'exposition microbiologique, l'humidificateur chauffant seul est possible en réanimation.

Protection du circuit

Les cellules à oxygène des ventilateurs craignent énormément l'humidité. Il y a un risque non négligeable de « noyer » des cellules et donc de rendre non fonctionnel le ventilateur. C'est pourquoi placer au niveau de chaque branche expiratoire du circuit respiratoire un filtre mécanique hydrophobe dit machine permet à la fois de protéger le respirateur de toute contamination mais également de permettre l'intégrité de celui-ci en stoppant toute humidité résiduelle qui pourrait émaner du patient.

Pédiatrie

Les enfants aussi peuvent nécessiter une ventilation et tout l'enjeu sera de diminuer au maximum le volume mort, tant au niveau du circuit qu'au niveau du filtre. La taille des filtres est donc adaptée à l'enfant et les raccords entre le filtre et le circuit sont coudés afin de minimiser ce volume mort. Le choix du type de filtration et d'humidification se fera classiquement, selon s'il s'agit d'un patient pédiatrique relevant de la réanimation ou de l'anesthésie.

Cas particulier des trachéotomies

Les patients trachéotomisés le sont généralement au long court. Ils sont bien souvent autonomes au niveau respiratoire et respirent donc l'air ambiant au niveau de leur trachéotomie. Ainsi, la filtration de l'air n'est pas nécessaire ; en effet, ils respirent la même qualité d'air qu'une personne respirant par nez. Cependant, il y a un court-circuit des cellules naso-pharyngées, ce qui empêche l'humidification et la hausse de température de l'air inspiré. Il est donc important que ces personnes soient pourvues d'un humidificateur seul, appelé communément « nez artificiel », qui n'est donc pas à confondre avec un filtre.

Filtres en première période épidémique COVID-19

Contexte

Au premier semestre 2020¹, les hôpitaux français (entre autres) ont été durement touchés par la crise sanitaire du Coronavirus. Le profil respiratoire des patients atteints était très préoccupant, la ventilation mécanique a donc été extrêmement sollicitée dans les services de réanimation. Très tôt, l'émission de gouttelettes a été désignée comme le mode de contamination principal du coronavirus [4], ce qui était préoccupant pour la santé des soignants puisque les actes d'intubation et de ventilation sont des gestes à fort risque d'aérosolisation. Il paraissait donc nécessaire de les protéger au maximum en faisant évoluer les pratiques parallèlement à cette situation exceptionnelle.

Problématique

Les filtres ont donc joué un rôle prépondérant dans la prise en charge de l'épidémie ; tant et si bien que leur approvisionnement au niveau mondial a connu de grosses tensions. Il a alors fallu se poser des questions quant à la substitution d'un type de filtration par un autre, l'allongement de leur durée d'utilisation et les références à commander etc.

Les premières parties de cet article permettent donc de comprendre et d'affirmer que les deux types de filtres, machines et FECH, sont non interchangeables. Pour autant, on a pu, lors de manque de filtres machine en services de réanimation, se dépanner avec des filtres commercialisés pour l'anesthésie, aux propriétés similaires.

Stratégie et recommandations

Avant l'épidémie et la pénurie, les recommandations d'utilisation des filtres en réanimation étaient d'utiliser un FECH par jour ou un humidificateur chauffant pendant tout le séjour pour humidifier l'air inspiré, et un filtre machine par jour sur la branche expiratoire du circuit. La surconsommation mondiale et la baisse de production dues à l'épidémie ont conduit les sociétés savantes d'anesthésie et réanimation à proposer de nouvelles recommandations d'utilisation afin de protéger au mieux les patients atteints du coronavirus et les soignants s'en occupant, tout en épargnant au maximum les ressources disponibles.

Le 09 mars 2020, une première recommandation de la SFAR déconseille fortement l'utilisation des humidificateurs chauffants car leur risque de contamination a été jugé trop élevé ; les FECH ont donc été privilégiés pour humidifier l'air inspiré [5].

Le 20 mars 2020, la SFAR et la SFRL ont recommandé de conserver les FECH sept jours et les filtres machines tout le séjour du patient afin de préserver les ressources et d'éviter

¹ Lors de la soumission de cet article, les établissements de santé font malheureusement toujours face à la crise sanitaire liée au SARS-CoV-2 et de nouvelles recommandations peuvent avoir été rédigées.

le risque d'aérosolisation du virus. Le 7 avril, les sociétés savantes reprécisent un changement de FECH toutes les 48 h ou plus [6].

Montage en réanimation

Comme pour les patients de réanimation habituels, un FECH est placé entre le circuit respiratoire et la sonde d'intubation, ce qui permet à la fois de filtrer mais aussi humidifier l'air administré au patient. Au niveau de la branche expiratoire du circuit, un filtre mécanique hydrophobe a été placé, afin de protéger le respirateur d'une éventuelle contamination.

Habituellement, le changement de ces filtres est quotidien, afin d'éviter une potentielle obstruction ou une humidification du filtre qui causerait une perte d'efficacité microbiologique. Cependant, il a été décidé de prolonger leur utilisation sauf s'il était souillé ou humide, auquel cas le changement est immédiat. Concernant le filtre mécanique hydrophobe placé côté machine, la durée d'utilisation a été supprimée : un filtre par patient et par séjour, sauf si bien sûr il est souillé ou humide, auquel cas il sera également changé au plus vite.

Contributions des auteurs

E Reallon : recherche et écriture ; H Laujin : encadrement ; V Cadiergue : encadrement ; A Sainfort Gallier : encadrement.

Déclaration de liens d'intérêts

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

Références

- [1] Dellamonica J, Boisseau N, Goubaux B, Raucoules-Aimé M. Évaluation de 44 filtres échangeurs de chaleur et d'humidité. Que choisir ? *Ann Fr Anesth Réanimation* 2003;22(5):402–7.
- [2] Guenoun T, Journois D, Aka EJ, Philippe H, Cazalaà J-B, Safran D. Normalisation européenne et systèmes de distribution de gaz médicaux. *Ann Fr Anesth Réanimation* 2006;25(1):63–8.
- [3] Lannoy D, Simon N, Decaudin B. Les filtres échangeurs de chaleur et d'humidité. *Monit Hosp* 2009;(212):31–41.
- [4] Lotfi M, Hamblin MR, Rezaei N. COVID-19: Transmission, prevention, and potential therapeutic opportunities. *Clin Chim Acta Int J Clin Chem* 2020;508:254–66.
- [5] Préconisations pour la ventilation en réanimation de patients COVID avec des ventilateurs d'anesthésie - La SFAR [Internet]. Société Française d'Anesthésie et de Réanimation 2020 [cité 15 oct 2020]. Disponible sur: <https://sfar.org/preconisations-pour-la-ventilation-en-reanimation-de-patients-covid-avec-des-ventilateurs-danesthesie/>.
- [6] Recommandations d'experts portant sur la prise en charge en réanimation des patients en période d'épidémie à SARS-CoV2 - La SFAR [Internet]. Société Française d'Anesthésie et de Réanimation 2020 [cité 15 oct 2020]. Disponible sur: <https://sfar.org/recommandations-dexperts-portant-sur-la-prise-en-charge-en-reanimation-des-patients-en-periode-depidemie-a-sars-cov2/>.