

## Comité consultatif scientifique COVID-19

*L'assainissement de l'air dans le contexte de la circulation  
d'agents pathogènes* 26 mai 2023

Mandaté par	À l'initiative du Comité
Contact	kommunikation@ethrat.ch
Site Internet	<a href="http://comite-scientifique-covid19.ch">comite-scientifique-covid19.ch</a>

Autres contributeurs (par ordre alphabétique):

Prof. Tamar Kohn, EPFL – confirmé

Prof. Dusan Licina, EPFL – confirmé

Prof. em. Thomas Peter, EPF Zurich – confirmé

Dr Michael Riediker, directeur SCOEH – confirmé

## L'assainissement de l'air dans le contexte de la circulation d'agents pathogènes

### 1 Situation de départ

Ce document vise à souligner le fait que les considérations sur l'air et les avantages d'un air pur valables pendant la phase aiguë de la pandémie de COVID-19 restent également d'actualité pendant la phase post-aiguë, ainsi que pour d'autres maladies aéroportées. Nous décrivons les avantages sanitaires substantiels de la ventilation et de la filtration de l'air dans les bâtiments pour les personnes. Particulièrement dans un contexte de maladies infectieuses, on s'attend généralement à une réduction de la charge pathogène par une bonne ventilation de l'air intérieur. Nous abordons également les défis et les incertitudes liés à la quantification de l'effet des mesures de purification de l'air sur la transmission, au besoin de fournir de l'air

# COVID-19

**pur en même temps qu'un environnement confortable pour les personnes dans les bâtiments tout en garantissant l'efficacité énergétique, et à la caractérisation des risques potentiels de certaines mesures de purification de l'air proposées.**

Fournir de l'air pur dans les bâtiments est aussi important pour la santé que pour le bien-être général des personnes, leurs performances professionnelles et leurs capacités d'apprentissage ([lien](#), [lien](#)). Par conséquent, l'air pur peut aussi avoir d'importantes implications économiques ([lien](#)). L'air pur se définit comme un air « non pollué ». Selon la définition de l'OMS : « La pollution de l'air désigne la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par tout agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère » ([lien](#)).

L'OMS ainsi que les autorités et organisations nationales et internationales désignent la pollution de l'air intérieur comme facteur important dans diverses pathologies, comme les maladies cardiovasculaires et respiratoires en particulier ([lien](#), [lien](#), [lien](#)). Dans un contexte de maladies infectieuses, l'air pur (c'est-à-dire l'air exempt d'aérosols à charge pathogène) peut réduire la contamination aéroportée. Cette information n'est pas nouvelle, mais son importance a été mise en avant tout au long de la pandémie. En référence au SARS-CoV-2, l'OMS a notamment souligné le rôle majeur de la ventilation pour garantir la pureté de l'air, et donc réduire la charge d'un agent pathogène ([lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#))

Nous résumons brièvement les principaux aspects de la transmission aéroportée par des aérosols à charge pathogène (section 2) et les mesures possibles pour réduire le nombre d'aérosols à charge pathogène dans l'air (section 3).

## 2 Etat actuel des connaissances scientifiques

### 2.1 Transmission par aérosols et qualité de l'air

Les agents pathogènes respiratoires sont transmis (i) sur de courtes distances (également désignées comme « champ proche » dans la modélisation de l'exposition) pendant des interactions rapprochées par le biais de gouttelettes et de particules d'aérosols (ii) sur de longues distances par des particules d'aérosols apportées jusqu'au et accumulées dans le « champ lointain » (voir également [lien](#) pour une discussion sur les tailles des gouttelettes et les modes de transmission dans le contexte du SARS-CoV-2). Nous notons que la transmission par les fomites constitue

## COVID-19

une troisième voie de transmission, mais nous n'en parlons pas en détail, car nous nous concentrons ici sur la transmission aéroportée.

La transmission est plus probable lorsque les personnes sont à proximité directe que lorsqu'elles sont loin les unes des autres : l'exposition aux gouttelettes a lieu uniquement à proximité directe et les concentrations en aérosols sont plus élevées à la source et diminuent avec la distance ([lien](#)). Par ailleurs, la quantité de virus est plus élevée dans les particules de grandes tailles ([lien](#), [lien](#)), et il est très probable que l'exposition à un nuage de particules de tailles différentes hautement concentrées provoque le plus haut risque d'infection. Toutefois, la transmission à longue distance pourrait jouer un rôle particulièrement important dans les grandes pièces mal ventilées et très fréquentées : dans ces conditions, tandis que seuls quelques individus sont exposés au risque de transmission à courte distance par leurs voisins proches, il y a bien plus de personnes à longue distance, ce qui signifie que de nombreux individus sont exposés à des aérosols chargés d'agents pathogènes. Lors de l'examen du risque de transmission, tous les espaces intérieurs dans lesquels des personnes séjournent ensemble ou successivement devraient être pris en compte, y compris les couloirs, les toilettes, etc. Outre le niveau de concentration des aérosols, la durée du séjour influence également la dose qui en résulte.

**La transmission à courte distance** peut être réduite en respectant une certaine distance et en portant un masque chirurgical ou un masque filtrant à haute efficacité (FFP2) (voir par ex. [lien](#)). Les masques chirurgicaux et les masques FFP2 (sans valve) agissent tant en limitant l'exhalation des gouttelettes (contrôle de la source) que l'inhalation des gouttelettes ou aérosols (contrôle de l'infection). Les masques FFP2 sont plus efficaces dans la prévention de l'inhalation. Toutefois, si tout le monde porte un masque chirurgical, une personne à risque est mieux protégée que si elle est la seule à porter un masque FFP2 et que personne autour d'elle ne porte de masque ([lien](#)). La transmission à courte distance peut également être réduite par des systèmes de ventilation individuels, à condition que chacun reste à la même place.

**La transmission à longue distance** peut être réduite en améliorant la qualité de l'air grâce à des mesures d'assainissement : ventilation manuelle (ou naturelle, assistée par des capteurs de CO<sub>2</sub>) ou mécanique, qui assure la dilution et l'évacuation des aérosols ; filtration de l'air, qui élimine les aérosols au passage du flux d'air ; ou désinfection, qui tue ou inactive les agents pathogènes dans les aérosols. De nouveaux concepts sont envisagés dans la construction des bâtiments ([lien](#)) pour appliquer ces mesures afin de réduire la concentration de pathogènes dans

## COVID-19

les aérosols, tout en assurant l'efficacité énergétique des bâtiments et le confort pour les personnes qui s'y trouvent.

Les mesures d'assainissement de l'air conçues pour améliorer la qualité de l'air intérieur sont plus efficaces pour prévenir la transmission à longue distance. Loin de leur source, les agents pathogènes sont plus dilués et nécessitent donc moins de réduction pour faire passer les concentrations aéroportées en dessous de la dose infectieuse minimale qu'en cas d'exposition à courte distance. Par ailleurs, le temps que met un agent pathogène à traverser une distance importante permet aux méthodes d'assainissement d'être plus efficaces. L'effet dépend aussi du taux d'émission des pathogènes, qui définit le niveau que ceux-ci peuvent atteindre pour une pièce et des conditions de ventilation données, et donc l'intensité des mesures d'assainissement nécessaires.

Le degré de réduction de la transmission aéroportée par les mesures d'assainissement de l'air dépend de l'importance de la transmission à longue distance pour l'agent pathogène donné (par rapport à la transmission à courte distance), laquelle dépend entre autres de la dose infectieuse minimale, de la capacité de l'agent pathogène à survivre dans des particules de différentes tailles au fil du temps, et de la proximité des personnes.

Les masques chirurgicaux, et plus encore les masques FFP2, peuvent également réduire la concentration de pathogènes dans les aérosols en empêchant l'exhalation de gouttelettes (contrôle de la source) et l'inhalation des aérosols (contrôle de l'infection). Les masques FFP2 sont bien plus efficaces dans la prévention de l'inhalation. Par conséquent, ces mesures sont efficaces tant pour la transmission à courte distance que la transmission à longue distance.

**Il est important de noter que comme la transmission se fait à différentes occasions et de différentes manières, un « modèle du fromage suisse » ([lien](#)) est généralement nécessaire** pour contenir la propagation en bloquant le chemin des agents pathogènes entre une personne infectée et une personne saine : les mesures d'assainissement de l'air peuvent fournir ici une des couches de protection.

### 3 Plans d'actions possibles

Pour réduire la concentration d'aérosols à charge pathogène dans l'air, on peut (i) éviter l'émission et l'inhalation d'aérosols, (ii) garantir le renouvellement de l'air pour diluer et évacuer les

## COVID-19

aérosols, (iii) les éliminer avec des filtres, (iv) les inactiver en désinfectant l'air, et (v) potentiellement moduler le pH dans l'air intérieur. L'approche (i) implique l'utilisation de masques chirurgicaux ou FFP2; ceux-ci ont été abordés dans d'autres documents tels que [lien](#) et ne seront pas décrits davantage ici. Nous nous concentrons ici sur les mesures dites d'assainissement de l'air (ii-v), décrivons leur impact sur la transmission et achevons la section avec des questions ouvertes, avant d'aborder les risques et les avantages autres que la réduction de la transmission ; voir par ex. [lien](#) pour plus de détails sur les mesures possibles.

### 3.1 Ventilation

**Le renouvellement de l'air dilue les concentrations d'aérosols** dans un espace donné et au fil du temps. Le renouvellement de l'air peut être réalisé par une ventilation manuelle ou mécanique. A un taux horaire de renouvellement de l'air identique, une ventilation mécanique constante permet généralement d'obtenir des concentrations plus faibles en raison de l'accumulation d'aérosols pendant les phases non ventilées.

Une corrélation a été observée entre la réduction de l'incidence / de la transmission de maladies infectieuses chez les humains et l'augmentation de la ventilation, par ex. :

- Réduction de l'incidence de la tuberculose dans une étude d'observation avec une amélioration de la ventilation ([lien](#)) ;
- Une étude menée dans un hôpital a conclu que « la conversion au test à la tuberculine parmi les soignants était fortement liée à une ventilation inadaptée dans les chambres ordinaires des patients ainsi qu'au type et à la durée du travail, mais pas à la ventilation dans les chambres d'isolement respiratoire » ([lien](#)).
- En ce qui concerne le SARS-CoV-2, une étude italienne a déterminé que « dans les salles de classe équipées de systèmes de ventilation mécaniques, le risque relatif d'infection chez les étudiants était réduit de 74% au minimum par rapport à une salle de classe avec une ventilation uniquement naturelle [...] » ([lien](#)).
- De nouveau, pour le SARS-CoV-2, des taux de contagion différents dans deux bus peuvent être expliqués par la ventilation ([lien](#)) ;
- Réduction de la transmission de la grippe dans une étude computationnelle ([lien](#)) ;
- Epidémie de grippe dans un avion où le système de ventilation ne fonctionnait pas ([lien](#)).
- Une bonne ventilation dans les services avec des cas isolés de SRAS pourrait permettre de réduire la charge virale du service et le nombre de soignants infectés ([lien](#)) (plus d'informations sur le SRAS [lien](#), [lien](#), [lien](#)).

## COVID-19

Le renouvellement de l'air peut également modifier l'humidité relative de l'air intérieur, particulièrement pendant la saison froide. Plus précisément, l'arrivée d'air froid venu de l'extérieur en hiver, puis réchauffé à température ambiante sans être réhumidifié, fait baisser le niveau d'humidité relative à l'intérieur, ce qui favorise la survie des agents pathogènes ([lien](#), [lien](#)) et la transmission du virus de la grippe ([lien](#)). En outre, la déshydratation des muqueuses causée par une faible humidité relative pourrait réduire la réponse immunitaire, et donc favoriser l'infection au virus de la grippe ([lien](#)), du moins chez les souris. Ce pourrait être surtout la réduction de l'humidité (plutôt que les valeurs absolues) qui rendrait les muqueuses plus sensibles ([lien](#)). Les systèmes de ventilation mécanique avec récupération de chaleur et restitution de l'humidité permettent de lutter contre ce phénomène. Toutefois, l'humidité de l'air ne doit pas non plus être trop élevée, car sinon des maladies des voies respiratoires risquent de se développer à cause des bactéries et des moisissures ([lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#)).

D'un autre côté, l'air extérieur peut transporter des acides volatils (par ex. l'acide nitrique) qui, lorsqu'ils sont mélangés à l'air intérieur, augmentent l'acidité des particules d'aérosols à charge pathogène. Ce processus réduit la persistance de certains agents pathogènes sensibles aux acides (par ex. le virus de la grippe), mais il pourrait aussi provoquer des effets immunomodulateurs qui augmentent la sensibilité des personnes présentes aux virus aéroportés.

La ventilation peut être contrôlée par des capteurs de CO<sub>2</sub> pour garantir des niveaux de ventilation plus élevés lorsque les pièces sont densément peuplées, et assurer la conservation de l'énergie lorsqu'elles ne sont pas, ou peu peuplées. Le taux de renouvellement de l'air doit être élevé par rapport au taux d'inactivation du virus dans les particules d'aérosols. Si l'agent pathogène aéroporté a par ex. une demi-vie de 60 min (ce qui a été observé pour le SARS-CoV-2 [lien](#)), quatre renouvellements d'air par heure (ACH) feraient une nette différence, tandis que 0,2 ACH n'aurait aucun effet notable. Il convient de noter que quatre ACH ne peuvent généralement être obtenus que par une ventilation mécanique. L'augmentation du flux d'air est la solution la plus efficace dans les lieux mal ventilés. Dans les pièces déjà bien ventilées, une augmentation disproportionnée du flux d'air est nécessaire pour obtenir un effet similaire ([lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#)), ce qui est associé à une augmentation disproportionnée de la consommation d'énergie. La difficulté consiste à trouver un équilibre optimal entre le risque d'infection et la consommation d'énergie. Par ailleurs, il reste à étudier comment éviter les flux d'air qui augmentent le risque d'infection pour les personnes ([lien](#), [lien](#)).

## COVID-19

**La ventilation manuelle (ou naturelle)** se fait en ouvrant les fenêtres. Les capteurs de CO<sub>2</sub> constituent un moyen relativement peu coûteux (< CHF 100.– par capteur) de s'assurer que les fenêtres sont ouvertes assez souvent, tout en évitant de les ouvrir trop fréquemment et donc, une déperdition d'énergie ([lien](#)). A noter : bien que ces capteurs constituent une aide précieuse, il convient de retenir certains aspects lors de leur utilisation. Tout d'abord, les capteurs mesurent les concentrations de CO<sub>2</sub>, mais pas celles d'agents pathogènes aéroportés ou d'aérosols. Le nombre de personnes non infectées dans la pièce n'a aucun effet sur la concentration en aérosols à charge pathogène, uniquement le nombre de personnes infectées. Par ailleurs, tandis que le CO<sub>2</sub> et les concentrations d'aérosols exhalés sont étroitement liés dans de nombreuses situations (voir par ex. [lien](#)), il peut arriver que les capteurs de CO<sub>2</sub> ne reflètent pas précisément les concentrations d'aérosols, par exemple avec une filtration d'air supplémentaire ou une émission accrue d'aérosols lorsqu'une personne chante. Enfin, la fréquence optimale de ventilation dépend de la durée de vie du virus infectieux dans l'air (voir par ex., [lien](#)) et des doutes subsistent quant au rythme de ventilation optimal.

**La ventilation mécanique** peut optimiser la ventilation de la pièce et le flux d'air. La ventilation mécanique se fait en utilisant des systèmes mobiles ou un système de ventilation intégré au bâtiment. Voir également [lien](#), [lien](#) et [lien](#). Il existe deux principaux concepts de ventilation mécanique, à savoir la ventilation par déplacement et la ventilation par mélange. Tandis que dans des situations idéales (peu de mouvement, peu de conversations, aucune variation thermique dans la pièce), la ventilation par déplacement devrait être plus efficace, on conseille souvent la ventilation par mélange dans les situations réelles ([lien](#)).

**La ventilation personnalisée** constitue une nouvelle avancée dans les systèmes de ventilation. Ce système réduit nettement mieux l'exposition aux aérosols à charge pathogène que la ventilation par mélange ou par déplacement, généralement utilisée ([lien](#)). Toutefois, ce système présente quelques limites pratiques. Il doit notamment être installé dans des pièces à répartition fixe des places assises, étant donné qu'il n'est pas adaptable à des aménagements variables ou à des configurations par alternance. Il implique également un plus grand nombre de conduits, ce qui peut poser problème d'un point de vue esthétique en fonction de l'aménagement, et augmenter les frais d'installation et de maintenance.

# COVID-19

## 3.2 Filtres à air

**Les filtres à air** peuvent réduire les concentrations d'aérosols dans les pièces fermées ([lien](#), [lien](#)). Les filtres à air peuvent notamment réduire la concentration d'ARN de SARS-CoV-2 comme on l'a vu dans des études expérimentales menées en milieu hospitalier ([lien](#), [lien](#)), dans des établissements communautaires ([lien](#), [lien](#)) et dans une école suisse ([lien](#)). Ils peuvent également réduire le risque d'infection à bord des avions ([lien](#)). Plusieurs études par modélisation suggèrent que la transmission du SARS-CoV-2 peut être réduite avec des filtres à air ([lien](#)). Toutefois, aucune étude en conditions réelles n'a pu démontrer clairement l'effet des filtres à air sur la transmission interhumaine du SARS-CoV-2 ou d'autres virus respiratoires ([lien](#)) (une étude suisse visant à évaluer cet effet n'est pas concluante de notre point de vue, [lien](#)). L'absence de résultat clair est notamment due à des difficultés méthodologiques de taille dans les études en conditions réelles. Quelques études ont uniquement évalué la présence ou l'absence d'un appareil de filtration de l'air. Il faut toutefois évaluer également si les appareils fonctionnent, à quel niveau et avec quel type de filtre. En principe, tandis que les filtres à air réduisent la quantité d'aérosols dans les lieux fermés, on ne sait pas vraiment à quel point la ventilation dans les lieux ouverts rend ces filtres à air superflus ([lien](#)) (il n'est pas toujours évident de déterminer le bon placement et les bonnes dimensions pour obtenir un bénéfice, [lien](#)).

## 3.3 Lumière UV

**La lumière ultraviolette peut être utilisée comme désinfectant pour détruire les agents pathogènes aéroportés et de surface** voir par ex., [lien](#), paragraphe 4.10 et [lien](#). La plupart des fréquences UV sont nocives pour la peau et les yeux humains. Par conséquent, elles sont utilisées soit dans des systèmes fermés, soit pour l'irradiation germicide ultraviolette en chambre haute ([lien](#), [lien](#)). La lumière UV lointaine, située dans une plage de 200 à 220 nm, semble faire figure d'exception, car elle a été désignée comme inoffensive pour la peau et les yeux humains à des intensités germicides hautement efficaces ([lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#)). Toutefois, en présence d'agents polluants aériens volatils fréquents en intérieur, la lumière UV peut contribuer à la formation de particules et autres polluants aériens secondaires qui peuvent avoir des conséquences nocives pour les humains ([lien](#)) dans les pièces insuffisamment ventilées. Des recherches sont en cours pour mieux comprendre ces conséquences, voir par ex., [lien](#). Par ailleurs, on ne sait toujours pas si le respect des taux de ventilation minimaux peut suffire à contrôler ces risques secondaires liés aux méthodes de désinfection de l'air.

## 3.4 Régulation de la valeur pH

Des recherches sont en cours pour savoir si la **modulation du pH de l'air intérieur** constitue une autre possibilité d'améliorer la qualité de l'air. Les acides et les bases influencent la qualité de l'air intérieur ([lien](#)). Cependant, on ne sait pas comment le pH devrait être régulé pour générer un effet positif. Les gaz générateurs d'acide abaissent le pH des aérosols. Une étude suggère que cela peut réduire la durée de vie de certains agents pathogènes bactériens et viraux aéroportés ([lien](#)) ; une autre étude conclut que l'abaissement du pH prolonge la durée de vie ([lien](#)). Toutefois, ces gaz sont également des polluants atmosphériques dont il a été démontré qu'ils réduisent les défenses immunitaires de l'hôte et augmentent le risque d'infection ([lien](#), [lien](#)). Il existe des incertitudes quant à la plage optimale pour l'utilisation éventuelle de gaz acidifiants comme désinfectants. En outre, on ne sait pas si les mesures discutées ci-dessus pour un air ambiant pur modifient de manière significative le pH de l'air.

## 3.5 Résumé

### Ventilation

La ventilation est associée à une diminution de la transmission des pathogènes respiratoires en intérieur. Cette association se retrouve dans de nombreuses études et suggère un effet de causalité, bien que celui-ci soit difficile à quantifier. L'effet de la ventilation sur la transmission pourrait s'exprimer principalement pour les agents pathogènes au potentiel de superpropagation en intérieur, comme le SARS-CoV-2. La ventilation peut donc représenter un outil important contre les infections aéroportées.

Il est important de maintenir une ventilation adaptée, non seulement pour réduire le risque d'infections aéroportées, mais aussi pour le bien-être humain en général, les performances professionnelles et les capacités d'apprentissage ([lien](#), [lien](#)), avec des implications économiques claires ([lien](#)).

Toutefois, si la ventilation est effectuée sans récupération d'humidité, l'afflux d'air froid pendant les mois d'hiver fait également baisser l'humidité relative, ce qui rend les muqueuses plus sensibles aux infections et peut donc nécessiter une humidification de l'air. La ventilation sans récupération de chaleur peut en outre être très énergivore et nécessiter un chauffage supplémentaire.

## **COVID-19**

### **Filtres à air**

En ce qui concerne la filtration de l'air, tandis que des concepts plausibles ainsi que des études en laboratoire et de terrain démontrent qu'elle réduit la quantité d'agents pathogènes aéropor-tées, il n'existe aucune étude épidémiologique concluante concernant leur impact sur la transmission interhumaine. Toutefois, les filtres à air présentent d'importants avantages sanitaires en général, en éliminant le pollen et d'autres agents polluants dans l'air.

### **Désinfectants UV**

Pour les désinfectants UV, les doutes concernant leur impact sur la transmission sont les mêmes que pour les filtres à air. Il est important de noter que les désinfectants UV peuvent augmenter le nombre de nanoparticules et de gaz organiques dans l'air, avec des implications sanitaires inconnues pour les humains. Ces risques potentiels sont mal connus. On ne sait pas vraiment à quel point leur utilisation nécessite une adaptation minutieuse des aspects tels que l'emplacement du système, le réglage de l'intensité et les mesures secondaires pour obtenir le résultat requis tout en gardant les risques sous contrôle.

### **Modulation du pH**

La pertinence et l'impact du contrôle du pH ne sont pas suffisamment connus à l'heure actuelle pour l'utiliser comme mesure d'assainissement de l'air.