

RECOMMANDATIONS RELATIVES À LA VENTILATION DES BÂTIMENTS HORS HÔPITAL ET INSTITUTIONS DE SOINS POUR LIMITER LA TRANSMISSION DE SARS-COV-2 PAR VOIE AÉROPORTÉE

FEVRIER 2021 CSS N° 9616



DROITS D'AUTEUR

Service public Fédéral de la Santé publique, de la Sécurité de la Chaîne alimentaire et de l'Environnement

Conseil Supérieur de la Santé

Place Victor Horta 40 bte 10 B-1060 Bruxelles

Tél.: 02/524 97 97

E-mail: info.hgr-css@health.belgium.be

Tous droits d'auteur réservés.

Veuillez citer cette publication de la façon suivante: Conseil Supérieur de la Santé. Recommandations relatives à la ventilation des bâtiments hors hôpital et institutions de soins pour limiter la transmission de SARS-CoV-2 par voie aéroportée. Bruxelles: CSS; 2021. Avis n° 9616.

La version intégrale de l'avis peut être téléchargés à partir de la page web: www.css-hgr.be

Cette publication ne peut être vendue



AVIS DU CONSEIL SUPERIEUR DE LA SANTE N° 9616

Recommandations relatives à la ventilation des bâtiments hors hôpital et institutions de soins pour limiter la transmission de SARS-CoV-2 par voie aéroportée

In this scientific advisory report, which offers guidance to public health policy makers, building managers, HVAC technicians and the general public, the Superior Health Council of Belgium focusses on settings other than hospitals and care facilities and provides an expert opinion on the use of ventilation, air conditioning and air filtration systems to reduce the risk of aerosol transmission of SARS-COV-2.

Version validée par le Collège du 3 février 2021¹

I INTRODUCTION ET QUESTION

Le 29 avril 2020, l'avis du Conseil Supérieur de la santé (CSS) avait été sollicité par Philippe De Backer, ministre de l'Agenda numérique, des télécommunications et de la poste, chargé de la simplification administrative, de la lutte contre la fraude sociale, de la protection de la vie privée et de la mer du nord, au sujet d'une demande urgente concernant la propagation du virus SARS-CoV-2 via les installations de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) dans les bâtiments non hospitaliers. Le CSS avait alors émis un avis (avis 9599 du CSS), dont la version définitive avait été validée par le Collège le 3 juin 2020.

Le 16 novembre 2020, le CSS a été sollicité par Pedro Facon, commissaire COVID, pour vérifier si, depuis l'émission de cet avis, de nouvelles connaissances relatives au SARS-CoV-2, au rôle de la ventilation et de l'aération ainsi qu'aux mesures éventuelles à prendre dans les bâtiments et environnements autres que les hôpitaux et institutions de soins, ont été acquises.

En effet, la question de la ventilation des bâtiments est particulièrement pertinente en période hivernale, lorsque les activités à l'extérieur se font plus rares alors que les bâtiments sont, la plupart du temps, aérés dans une bien moindre mesure. Or, contrairement à ce qui était le cas lorsque le CSS avait émis son précédent avis sur ce sujet, la propagation de la maladie par les aérosols n'est désormais plus contestée, même si son importance relative par rapport aux autres modes de transmission est encore méconnue.

A cela s'ajoute une évolution très préoccupante de la crise sanitaire, à savoir l'émergence de variants hautement contagieux (par ex. les variants anglais, sud-africain, brésilien). Dans ce contexte, la présente révision revêt une importance particulière.

Plutôt qu'une révision de l'ancien avis (qui se contentait de répondre à des questions précises du secteur immobilier), le CSS a choisi de rédiger un nouvel avis à part entière, avec une

¹ Le Conseil se réserve le droit de pouvoir apporter, à tout moment, des corrections typographiques mineures à ce document. Par contre, les corrections de sens sont d'office reprises dans un erratum et donnent lieu à une nouvelle version de l'avis.



structure différente et dans lequel sont formulées des recommandations destinées à l'ensemble des secteurs, hors hôpitaux et institutions de soins.

Dans un premier chapitre, les différents modes de transmission du SARS-CoV-2 sont rappelés (inhalation et dépôt de gouttelettes sur les muqueuses, transmission aéroportée et inhalation d'aérosols, contact indirect des muqueuses avec des surfaces contaminées). L'état des connaissances sur les aérosols, leur importance et les principaux critères augmentant le risque de contamination sont analysés.

Le second chapitre rappelle les règles de base classiques et introduit la stratégie qui consiste à diminuer la concentration potentielle en particules infectieuses dans l'air par l'aération et la ventilation.

Le troisième chapitre rappelle les principes généraux de la ventilation, son impact sur la qualité de l'air et donc sur la concentration en particules infectieuses dans l'air si une ou plusieurs personnes infectées sont présentes dans des espaces confinés. L'avis aborde la question du taux de CO₂ comme indicateur indirect de la qualité de l'air intérieur. Il examine l'intérêt de déterminer ce taux afin de permettre la prise de mesures correctrices lorsque celui-ci grimpe au-delà du seuil préconisé et de limiter de la sorte le risque de transmission du virus via les aérosols. Ce chapitre comprend également des recommandations très concrètes quant à la gestion de la ventilation dans les locaux.

Les deux chapitres suivants sont consacrés au rôle et aux différentes possibilités de filtration de l'air, en complément de la ventilation, ainsi qu'aux autres systèmes de purification de l'air.

Un petit chapitre évoque ensuite rapidement quelques autres dispositifs déplaçant l'air (tels que les ventilateurs individuels) et le risque qu'ils présentent dans la transmission virale, tandis que le dernier chapitre de l'avis aborde brièvement la distinction entre les bâtiments résidentiels et non-résidentiels, ainsi que le cas particulier des transports.



TABLE DES MATIERES

I	INTRO	DUCTION ET QUESTION	1		
II	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS				
1	Aérosols : production, distribution, importance				
2	Mesures. Besoins en ventilation				
3	Comi	ment ventiler	7		
4	Filtre	s pour la purification de l'air	8		
5		s autres systèmes de désinfection de l'air			
6		s dispositifs déplaçant l'air			
7	Les t	ransports	10		
Ш	METHO	DDOLOGIE	11		
IV	ELABO	RATION ET ARGUMENTATION	11		
1	Trans	smission du virus	11		
	1.1	Fransmission par voie aéroportée (aérosols)	11		
	1.2	Superspreading events	12		
	1.3 I	mportance des aérosols sur la transmission du SARS-CoV-2	13		
	1.3.1	De quelle taille sont les gouttelettes exhalées ?	13		
	1.3.2	Quelle est la différence entre les aérosols et les gouttelettes ?	14		
	1.3.3	À quelle distance les gouttelettes rejetées sont-elles expulsées ?	15		
	1.3.4	Comment le virus se transmet-il via les gouttelettes et aérosols ?	16		
	1.3.5	Durée du caractère infectant du virus dans l'aérosol	17		
	1.3.6	Que disent les experts en aérosols sur la transmission par aérosols ?	17		
	1.3.7	Conclusion	18		
	1.4	Autres facteurs : température et humidité relative	19		
	1.5	Conclusions	20		
2	Limiter les risques de contamination		21		
	2.1 F	Règles de base classiques	21		
	2.2 Diluer la concentration de virus dans l'air : aérer / ventiler		22		
3	La ve	entilation	23		
	3.1 F	Principes généraux de ventilation	23		
	3.2 I	mpact de la ventilation	24		
	3.2.1	Modèles	24		
	3.2.2	Dynamique des masses d'air	25		
	3.2.3	Qualité de l'air	26		
	3.2.4	3			
	3.2.5	·			
	3.2.6	· -			
	3.3 F	Recommandations spécifiques pour la ventilation, le chauffage et la climatis	sation		



	3.4	Cas	s particulier des sanitaires	.37
4	Filt	res e	t autres dispositifs complémentaires de désinfection / purification de l'air	. 38
	4.1	Filtr	ation	. 39
	4.1	.1	Filtration centrale sur le système de recirculation	. 41
	4.1	.2	Filtration locale	. 42
	4.1	.3	Entretien des filtres	. 43
	4.2	Sys	tèmes de désinfection complémentaires à la filtration	. 43
	4.2	.1	Les UV-C comme moyen de désinfection	. 44
	4.2	.2	Ozone comme moyen de désinfection	. 49
	4.2	.3	Autres systèmes de désinfection	. 49
	4.2	.4	Systèmes de purification de l'air pour les particuliers	. 50
	4.3	Cor	nclusion	. 50
5	Aut	res c	lispositifs déplaçant l'air	. 51
	5.1	Ver	ntilateurs individuels	. 51
	5.2	Sou	uffleries d'air chaud ou aérothermes	. 52
	5.3	Sèc	che-mains à air pulsé	. 52
	5.4	Sèc	che-cheveux	. 53
6	Тур	es d	e bâtiments / locaux	. 54
/	REFE	REN	ICES	. 57
/1	COM		ITION DU COOLDE DE TRAVAII	GE



Liste des abréviations

ATIC Association royale de la technique du chauffage, de la ventilation et de la

climatisation

BELAC Belgische Accreditatie-instelling - Organisme belge d'accréditation

CSS Conseil supérieur de la santé

CDC Centers for Disease Control and Prevention

Covid-19 Coronavirus disease 2019

CVC Chauffage – Ventilation - Climatisation

ECDC European Centre for Disease Prevention and Control

HCSP Haut conseil de la santé publique (France)
HEPA High Efficiency Particulate Air (filters)

HR Humidité relative

HVAC Heating, ventilation and air-conditioning

MR Maison de repos

MRS Maison de repos et de soins

OMS Organisation mondiale de la santé (WHO)

PM Particulate Matter (Particule fine)

REHVA Fédération européenne des associations de chauffage, de ventilation et de

climatisation (Federation of European Heating, Ventilation and Air

Conditioning associations)

RT-PCR Reverse transcription-polymerase chain reaction

SARS Severe Acute Respiratory Syndrome

SSE Superspreading event

UVGI Ultraviolet germicidal irradiation (Irradiation germicide aux ultraviolets)

VMC Ventilation mécanique contrôlée

Mots clés et MeSH descriptor terms²

Mesh terms*	Keywords	Sleutelwoorden	Mots clés	Schlüsselwörter
COVID-19	SARS-CoV-2	SARS-CoV-2	SARS-CoV-2	SARS-CoV-2
Environment, controlled	HVAC	HVAC	CVC	HLK
Disinfection	Disinfection	Ontsmetting	Désinfection	Desinfektion
	Office buildings	Kantoorgebouwen	Immeubles de bureaux	Bürogebäude
Aerosols	Aerosol	Aerosol	Aérosol	Aesorol
	Superspreading event	Superverspreidende gebeurtenis	Evenement de super-propagation	Superspreading- Ereignis

MeSH (Medical Subject Headings) is de thesaurus van de NLM (National Library of Medicine) met gecontroleerde trefwoorden die worden gebruikt voor het indexeren van artikelen voor PubMed http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh.

² Le Conseil tient à préciser que les termes MeSH et mots-clés sont utilisés à des fins de référencement et de définition aisés du scope de l'avis. Pour de plus amples informations, voir le chapitre « méthodologie ».



_

II CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Avant tout, le CSS rappelle que les <u>recommandations</u> élémentaires de prévention indispensables, à savoir : **distanciation** physique, respect d'un **nombre maximal** de personnes par m² dans un espace clos, **hygiène** des mains et des surfaces, minimisation de la propagation lors de la toux, **port du masque, même lorsque les distances physiques sont respectées, et certainement dans les espaces clos insuffisamment ventilés, etc. Par ailleurs le confinement et la réalisation des tests de dépistage sont nécessaires en cas de symptômes et de contact à haut risque.**

1 Aérosols : production, distribution, importance

Le coronavirus ne peut se multiplier que dans une cellule hôte. Les <u>principaux modes de transmission</u> du virus sont a) **l'inhalation de gouttelettes** qui finissent dans la bouche et les voies respiratoires supérieures, b) **l'auto-inoculation** sur les muqueuses de la bouche, du nez et des yeux par des mains contaminées par contact avec des surfaces sur lesquelles le virus a été libéré et c) **l'inhalation d'aérosols**, c'est-à-dire de très petites particules (typiquement inférieures à 5 µm) produites en respirant et qui peuvent rester en suspension dans l'air pendant des heures et pénétrer profondément dans les poumons. En réalité la respiration engendre un spectre de particules de dimensions différentes, et le dessèchement peut transformer des gouttelettes en aérosols. Tousser, éternuer, chanter ou parler très fort entraînent une production accrue de gouttelettes et d'aérosols. Certaines personnes, les « super-contaminateurs » produisent plus de particules chargées en virus que d'autres.

Les données actuellement disponibles indiquent que les aérosols peuvent jouer un rôle important dans la transmission du coronavirus, en particulier à l'intérieur, dans des espaces insuffisamment ventilés, où les personnes infectées passent de longues périodes de temps avec les autres. Le fait que la probabilité de contagion est beaucoup plus élevée dans des espaces clos qu'à l'air libre est cohérent avec l'importance de la transmission via les aérosols. Les aérosols sont probablement les vecteurs de contamination les plus importants à longue distance, tandis qu'à très courte distance, ce sont les gouttelettes. La concentration des aérosols est la plus importante à proximité du propagateur et ils se répandent dans l'espace disponible au bout d'un certain temps et peuvent (en cas de personnes suffisamment infectées ou en présence de super-contaminateurs) entraîner l'accumulation de concentrations virales dans une partie ou dans la totalité d'un espace clos.

L'effet de la température et de l'humidité sur l'infectiosité des aérosols contaminés par le coronavirus est mal connu. Des observations contradictoires ont été rapportées. Le contrôle précis de la température et de l'humidité relatives ne seront donc pas les stratégies les plus pertinentes dans la limitation du risque de transmission du SARS-CoV-2 par voie aéroportée.

2 Mesures: besoins en ventilation

Les mesures de prévention de la contamination sont avant tout les mesures connues : la distance (au moins 1,5 mètre, de préférence 2 mètres), le port d'un masque bien ajusté à l'intérieur, même lorsque les distances physiques sont respectées, et certainement dans les espaces clos insuffisamment ventilés, la toux et les éternuements dans le creux du coude ou de préférence dans un mouchoir en papier jetable, le lavage fréquent des mains, la désinfection après contact avec un objet potentiellement infecté et la désinfection des surfaces potentiellement contaminées.

En raison de l'importance des aérosols dans la propagation du virus, la **ventilation avec de l'air neuf** est très importante dans les espaces clos. Cet apport d'air neuf et non contaminé vise à réduire la concentration de particules virales dans l'air. Le taux de CO₂, qui est en moyenne de 400 ppm dans l'air extérieur non pollué, permet d'évaluer dans quelle mesure la



qualité de l'air dans un espace confiné est influencée par la présence de personnes (porteurs potentiels du SARS-CoV-2). Dans des circonstances normales, un apport d'environ 25 à 40 m³ d'air neuf par personne et par heure (10 l/s et par personne) est recommandé. Cependant, pour la prévention de l'infection par le coronavirus, un tel niveau de débit d'air neuf est probablement insuffisant. Certains modèles suggèrent que, en fonction de la durée d'exposition, du nombre de personnes par m² et du volume du local, le besoin d'air neuf pourrait atteindre un multiple de cette valeur, surtout pour des espaces clos de petit volume. Le problème se pose probablement beaucoup moins pour de grandes salles hautes. Le CSS recommande donc, en fonction des possibilités techniques, de prévoir au moins 50 m³ par heure et par personne et de préférence 80 m³ par heure et par personne d'air neuf, et de maintenir la concentration de CO₂ aussi faible que possible, et certainement en dessous de 800 ppm. Lorsque le taux de CO₂ se rapproche de cette limite, cela signifie que la ventilation est insuffisante, des mesures s'imposent (ex : ouvrir les fenêtres, diminuer le nombre de personnes).

En d'autres mots, les possibilités techniques de ventilation des espaces clos ne permettront pas, dans de nombreux cas, une occupation normale. Le nombre de personnes présentes devra être limité en fonction de la capacité de ventilation.

Le CSS recommande fortement aux autorités de prévoir l'installation d'un système de ventilation conforme aux normes en vigueur dans tout bâtiment où un nombre important de personnes doit rester de longues périodes. Le CSS attire l'attention sur le fait que, en termes de limitation du risque COVID, les normes existantes sont largement insuffisantes. En l'absence de ventilation de base conforme (ex : la plupart des écoles), l'ouverture des fenêtres en continu est l'unique moyen d'augmenter le taux de renouvellement de l'air.

Une ventilation adéquate avec de l'air neuf est une condition nécessaire pour limiter la transmission par aérosols. Le CSS souligne qu'il est impossible de fixer une valeur de ventilation permettant de supprimer totalement le risque de contamination, ou de fixer précisément le niveau de ventilation requis pour diminuer très fortement le risque. Aussi il est crucial de réaliser que même la ventilation la plus parfaite ne saurait pas protéger contre la contamination à travers un contact rapproché.

3 Comment ventiler

La ventilation se fera de préférence à 100 % avec de l'air neuf, en coupant la recirculation le cas échéant. Couper la recirculation n'est cependant pas toujours possible techniquement ou compatible avec la gestion énergétique et le maintien d'une température acceptable.

La **ventilation** peut être mécanique ou naturelle. Elle peut également être obtenue ou **renforcée en ouvrant les fenêtres**, seule solution si aucune ventilation mécanique ne peut être assurée. En ouvrant les fenêtres en grand d'un côté d'une pièce, on peut obtenir un taux de renouvellement de l'air de l'ordre de 10 volumes par heure. L'ouverture de fenêtres sur différentes façades peut permettre d'augmenter encore le renouvellement d'air, en complément de la ventilation. Cependant, il faut éviter les flux d'air incontrôlés entre les différentes pièces.

La ventilation mécanique permet généralement de mieux contrôler les débits d'air que la ventilation complètement ou partiellement naturelle. La ventilation complètement naturelle dépend seulement des forces motrices dues au vent et aux différences de température entre intérieur et extérieur.

La prise en compte des conditions de flux locales est essentielle pour éviter la formation de zones d'air vicié ainsi que pour concevoir des systèmes de ventilation appropriés.



Il faut veiller à ce que l'air circule des zones propres (pas ou moins contaminées en particules virales) vers les zones contaminées et non l'inverse. Par exemple, pas des toilettes aux bureaux.

La ventilation démarrera à la vitesse nominale **au moins deux heures avant** l'occupation des locaux, et se terminera ou passera à une vitesse inférieure **deux heures après** celle-ci.

Aucune directive particulière ne peut être donnée pour l'intervention sur l'humidité de l'air. Les normes habituelles doivent être respectées.

Les <u>installations sanitaires</u> qui sont un lieu de production continue d'aérosols doivent faire l'objet de mesures spécifiques : ventilation active selon l'horaire cité ci-dessus, rabattre le couvercle de la cuvette, serviettes en papier jetables, pas de sèche-mains à air pulsé, poubelles munies d'un couvercle actionnable des pieds, maintenir les sanitaires en pression négative.

4 Filtres pour la purification de l'air

Certains systèmes de ventilation (mécanique par exemple) et systèmes de chauffage, ventilation et climatisation sont équipés de filtres. Le but premier de ces filtres est de protéger le système et les composants contre l'encrassement. Dans certains cas, en dehors du SARS-CoV-2, la filtration peut également être utilisée pour améliorer la qualité de l'air neuf ou pour purifier dans une certaine mesure de l'air recirculé.

<u>Au cas où il y aurait une recirculation</u> et qu'il serait impossible de l'arrêter ou de prévoir la filtration nécessaire sur cet air recirculé, ou si une purification locale est nécessaire, la filtration permet au mieux de compenser partiellement une ventilation insuffisante et ne peut certainement pas se substituer entièrement à une ventilation correcte.

Dans ce cas, une purification de l'air recirculé potentiellement chargé en virus par **filtration centrale** est la meilleure solution.

Les **filtres HEPA** et les **précipitateurs électrostatiques** sont les plus efficaces, en retenant plus de 99,9 % des particules. Les filtres HEPA ne peuvent toutefois pas être la norme, ni en adaptation d'installations, ni en nouvelles installations pour de la ventilation traditionnelle dite « de confort », au vu des difficultés techniques et de la perte de charge non négligeable. Ils doivent être réservés à des cas particuliers où le risque de contamination est élevé et souvent une cascade de filtres devra être envisagée. Les précipitateurs électrostatiques ne posent pas ces problèmes de perte de charge. Ces systèmes peuvent toutefois donner lieu à une production d'ozone très limitée.

Des filtres moins efficaces tels EPA, ou ePM1 sont plus faciles à installer que des HEPA. Les ePM1 ne dépasseront toutefois pas une efficacité de 60 % sur les particules de la taille d'un virus. Les EPA sont un bon compromis car ils offrent déjà une certaine efficacité à retenir des particules de la taille du virus sans cependant augmenter de manière trop importante la perte de pression.

Dans certains cas particuliers pour lesquels le risque est plus élevé (ex : cabinets de dentistes avec production d'aérosols), ou de grands ateliers réfrigérés (recirculation obligatoire pour le refroidissement), lorsque la ventilation est insuffisante dans certains locaux et qu'il n'est pas possible d'opérer une filtration au niveau central, une <u>purification locale par filtration (appareils en « stand-alone »)</u> peut être installée dans les locaux concernés.

Ces purificateurs d'air mobiles / locaux, soit équipés de filtre HEPA, soit à précipitation électrostatique, doivent être dimensionnés et bien positionnées par rapport à la taille de la pièce. Plusieurs petites unités réparties sur la zone à traiter sont préférables à une seule grande unité.



Il faut que les dispositifs de filtration locale de l'air fonctionnent pendant plus d'une heure en continu pour réduire le risque de contamination aéroportée. Ils sont inopérants pour les échelles de temps plus courtes. Comme la ventilation avec de l'air neuf, les dispositifs complémentaires de filtration ne protègent pas contre des expositions très rapprochées.

5 Divers autres systèmes de désinfection de l'air

La lumière ultraviolette (UVC) est une technologie qui est utilisée pour désinfecter l'air et les surfaces pour d'autres organismes cibles. L'irradiation directe des personnes et l'exposition à l'ozone sont des facteurs de risque qu'il faut éviter lors de l'utilisation des UV-C. L'efficacité contre de nombreux micro-organismes a été démontrée, mais les données précises manquent en ce qui concerne l'utilisation dans des conditions réelles contre le SARS-CoV-2.

Quatre types de systèmes UV-C peuvent être distingués :

- Les systèmes « upper-room », adaptés aux grandes pièces avec de hauts plafonds ;
- Les systèmes de lampes UV-C installées à l'intérieur des conduites de ventilation ;
- Les systèmes autonomes mobiles de lampes UV-C, dans des systèmes fermés pour éviter une exposition des personnes :
- Les systèmes UV-C lointains, avec une longueur d'onde comprise entre 207 et 222 nm. Ce rayonnement ne pénètre pas la peau humaine. La question de savoir si des effets nocifs sur les yeux peuvent être exclus doit être examinée plus en détail.

Le choix, le dimensionnement, le réglage et l'installation des systèmes UV-C sont complexes et nécessitent l'intervention de personnes ayant des compétences particulières. La maintenance de ces systèmes est également coûteuse (nettoyage, tests réguliers, remplacement des lampes) et nécessite un personnel spécialisé. En ce qui concerne la sécurité, il faut éviter le contact direct des personnes avec le rayonnement, dans le cas des systèmes « *upper-room* » et « *far* UV-C », en les plaçant avec soin ou, au contraire, en les utilisant dans un système fermé. En ce qui concerne la production d'ozone, l'utilisation d'un « *coating* » approprié est nécessaire.

Pour toutes ces raisons de difficulté de dimensionnement, de maintenance et de risques possibles pour la santé, le CSS ne recommande actuellement pas les systèmes à UV-C en dehors de certaines unités des hôpitaux, ou de grandes organisations disposant d'une équipe technique à même de faire les choix judicieux d'achat, de dimensionnement et de maintenance. L'utilisation de tels systèmes, en complément à la ventilation, est toutefois prometteuse et mérite des études supplémentaires.

L'utilisation de l'ozone pour la désinfection des locaux n'est pas recommandée par le CSS, car l'ozone est toxique aux concentrations qui ont un effet désinfectant, a des propriétés génotoxiques et a provoqué le cancer du poumon dans certaines expériences sur les animaux.

Le CSS déconseille également l'utilisation d'autres techniques alternatives de désinfection.

Ces systèmes sont toujours basés sur l'oxydation ou des produits toxiques, et peuvent donc présenter des risques pour la santé humaine.



6 Autres dispositifs déplaçant l'air

D'autres dispositifs déplaçant l'air autres qu'un système de ventilation mécanique ou naturelle présentent des **risques accrus de transmission** du SARS-CoV-2 par voie aéroportée si l'air soufflant du dispositif va d'une personne infectée – même asymptomatique – directement sur une autre. L'idéal est de ne pas utiliser ces systèmes. Si leur utilisation est inévitable, le CSS recommande d'augmenter le renouvellement d'air neuf extérieur et de ne jamais diriger le souffle des dispositifs vers les personnes. Plus spécifiquement :

- 1) Un <u>ventilateur individuel</u> doit être placé près d'une fenêtre ouverte pour qu'il souffle dans la pièce de l'air neuf extérieur.
- 2) Pour les <u>souffleries d'air chaud ou aérothermes</u>, il est recommandé d'augmenter l'apport d'air neuf extérieur en ouvrant des fenêtres et des portes, ainsi que d'éviter que des personnes se tiennent directement dans le courant d'air chaud soufflé.
- 3) On veillera à ce que le souffle d'un <u>sèche-cheveux</u> ne soit pas dirigé d'une personne vers une autre. Dans les salons de coiffure, un système de ventilation efficace est primordial. La qualité de l'air devrait y être contrôlée par des senseurs à CO₂, ainsi que le respect scrupuleux du nombre de personnes par m² admises dans le salon.

Les <u>sèche-mains à air pulsé</u> quant à eux contribuent à la production d'aérosols susceptibles de contaminer l'air ambiant, les surfaces environnantes, ou les autres personnes présentes, d'autant plus si l'utilisateur de l'appareillage est infecté et contaminant. Leur utilisation doit donc à tout prix être évitée et remplacée par des serviettes en papier jetable.

7 Les transports

Qu'ils soient publics ou individuels, les transports sont des environnements clos et confinés, dans lequel les personnes ne peuvent en général pas respecter la distance physique et y restent un certain temps : ils présentent donc un risque non négligeable de contamination au SARS-CoV-2.

Dans les transports, le port continu du masque est essentiel.

En <u>voiture individuelle</u>, lorsqu'on ne voyage pas avec ses proches, il est recommandé de ne pas utiliser la recirculation en coupant la climatisation, et de ventiler avec l'air extérieur en ouvrant les fenêtres.

Pour les <u>transports publics</u>, chaque gestionnaire doit mettre en place les mesures nécessaires pour limiter la propagation, en évitant la recirculation d'air, en augmentant l'apport d'air neuf, en ouvrant les fenêtres dans les transports où c'est possible. De plus, les transports devraient être nettoyés et désinfectés chaque jour en période de forte circulation du virus.



III METHODOLOGIE

Après analyse de la demande, le Collège et le président du groupe de travail ont identifié les expertises nécessaires. Sur cette base, un groupe de travail *ad hoc* a été constitué, au sein duquel des expertises en hygiène hospitalière, microbiologie et microparticules, infectiologie, virologie, épidémiologie, HVAC, chauffage et ventilation, filtration, chimie, mécanique des fluides, polluants, physique des aérosols, toxicologie et prévention du cancer étaient représentées. Les experts de ce groupe ont rempli une déclaration générale et *ad hoc* d'intérêts et la Commission de déontologie a évalué le risque potentiel de conflits d'intérêts.

L'avis est basé sur une revue de la littérature scientifique, publiée à la fois dans des journaux scientifiques et des rapports d'organisations nationales et internationales compétentes en la matière (*peer-reviewed*), ainsi que sur l'opinion des experts.

Après approbation de l'avis par le groupe de travail et le Bureau du Collège, le Collège a validé l'avis en dernier ressort.

IV ELABORATION ET ARGUMENTATION

1 Transmission du virus

1.1 Transmission par voie aéroportée (aérosols)

Les principaux modes de transmission du virus SARS-CoV-2 évoqués dans la litérature (par ex. HCSP a, 17/03/2020 et HCSP c, 14/10/2020 ; Sciensano *factsheet* – v7 du 24/12/2020) sont :

- L'inhalation et le dépôt de gouttelettes sur les muqueuses (plus grandes que 5 µm) émises par un individu, en contact étroit, lors de la toux, d'éternuements et de la parole;
- La transmission aéroportée, par inhalation de gouttelettes plus fines (« droplet nuclei ») et des particules sous forme d'aérosols contenant le virus qui peuvent rester en suspension dans l'air sur de longues distances et dans le temps ;
- La transmission par contact indirect avec les muqueuses de la bouche, du nez ou des yeux par les mains ayant eu un contact avec des surfaces contaminées (fomites³).
 Il y a peu de preuves directes pour cette voie de transmission, qui doit toutefois bien être considérée comme une voie potentielle, car plusieurs études ont démontré une contamination importante des surfaces aux alentours d'une personne infectée, et que d'autres maladies respiratoires et des coronavirus peuvent se transmettre via un tel contact indirect (Sciensano factsheet, 14/12/2020).

Ces trois modes de transmission ne s'excluent pas mutuellement.

Dans les premiers mois de l'épidémie, l'accent a surtout été mis sur la <u>voie de transmission</u> <u>par inhalation de grosses particules ou gouttelettes</u>, expulsées lors de la toux et des éternuements, qui s'évaporent lentement et se déposent rapidement sur les surfaces, avant de sécher.

Mais de grandes quantités de particules invisibles à l'œil nu, de taille suffisante pour transporter une variété de pathogènes transmissibles⁴, formant des « aérosols », sont

³ A fomite: a physical object that is not an animal or plant that can spread a disease to a living creature (Cambridge dictionary).
⁴ Toutes les particules ne contiennent pas un virus. Wölfel et al. (2020) indiquent que le risque qu'une particule de par exemple 3 μm (1 μm après déshydratation, soit le pic pour la parole et la respiration), sur base d'une charge virale de 7 x 10⁶ copies/ml dans la salive, contienne une particule virale est de l'ordre de 0,01 %.



également produites lors de la toux et des éternuements et aussi lors de la conversation, du chant et dans une moindre mesure lors de la respiration⁵. En raison de leur très petite taille, ces particules d'aérosol peuvent rester longtemps en suspension dans l'air. Les sujets asymptomatiques expirent surtout de telles particules fines (aérosols) chargées en virus (HCSP b, 2020).

Il y a de plus en plus de preuves de l'importance des aérosols, qui restent en suspension dans l'air pendant des heures et contiennent des virus, comme source de contamination. Ce mode de contamination est également actif à une distance supérieure à 1,5 - 2 m (lire par ailleurs le rôle des aérosols dans la transmission du SARS-CoV-2 au point 1.3).

Au début de la pandémie, la transmission via aérosol du SARS-CoV-2 était considérée comme peu probable.

Alors que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) soutenait depuis longtemps que le coronavirus se propage principalement par des gouttelettes respiratoires de plus grande taille qui tombent rapidement sur le sol une fois expulsées par les personnes infectées lors de toux et d'éternuements, 239 experts scientifiques de 32 pays lui ont adressé en juillet 2020 une lettre ouverte (Morawska and Milton, 2020) dans laquelle ils mettent en évidence des preuves étayant le fait que les aérosols peuvent bel et bien constituer une voie de transmission. Dans la foulée, ils demandaient à l'organisation internationale d'adapter ses recommandations. L'OMS reconnait maintenant que la transmission aéroportée par aérosol est possible dans certaines circonstances, en particulier à l'intérieur, dans des espaces insuffisamment ventilés, où les personnes infectées passent de longues périodes de temps avec les autres (OMS, 2020).

Le CDC (Centers for Disease Control and Prevention), ainsi que d'autres autorités (dont les gouvernements britannique et italien) ont depuis également admis la possibilité d'une transmission par aérosol. Selon l'ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control, 2020), « If well-maintained and adapted for use in the COVID-19 pandemic, heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) systems may have a complementary role in decreasing potential airborne transmission of SARS-CoV-2. ».

En conclusion, le potentiel de transmission aérienne à longue distance du SARS-CoV-2 n'est plus contesté, bien que son importance relative ne peut pas être précisée et doit notamment être comparée au mode de transmission en contact étroit par inhalation de gouttelettes émises lors de la toux, d'éternuements et de la parole.

La voie aéroportée prend une importance plus grande dans certaines circonstances, en particulier à l'intérieur, dans des espaces insuffisamment ventilés, où les personnes infectées passent de longues périodes de temps avec les autres.

1.2 Superspreading events

Le virus du SARS-CoV-2 se propage de manière très inégale.

En effet, certains événements jouent un rôle démesuré dans la transmission globale de la maladie : ces « *superspreading events* » - ou événements de super-propagation en français (SSE) - sont des événements au cours duquel une maladie infectieuse se propage de manière particulièrement efficace.

De même, certaines personnes ne transmettent pas la maladie à d'autres, tandis que d'autres les « super-propagateurs » (superspreaders) peuvent infecter des dizaines de personnes. Certaines circonstances très favorables aux virus peuvent alors entraîner l'infection simultanée de très nombreuses personnes.

.be

 $^{^5}$ Emission de nuages de particules de différentes tailles : de 0,5 à 500 μ m avec un pic à 10 μ m lors de la toux ; de 0,5 à 11 μ m avec un pic à 0,8 μ m lors de la parole.

C'est ce qui explique certains cas de contamination dans lesquels les distances de sécurité avaient été respectées. De tels événements de super-propagation ont par exemple eu lieu dans des églises (notamment la plupart des membres d'une chorale), des salles de gymnastique, lors de congrès professionnels, des bateaux de croisière, des usines de viande et abattoirs, des maisons de repos, des bars, des bus, etc.

Selon Meyerowitz et al. (2020), la dynamique de la transmission est hétérogène, et les événements de super-propagation jouent un rôle majeur dans le maintien de l'épidémie. Ces événements concernent souvent des personnes se trouvant à proximité immédiate, dans des espaces clos mal ventilés, pendant de longues périodes, sans port de masque.

Ainsi, Lu et al. (2020) ont décrit un cas de contamination dans un restaurant climatisé à Guangzhou, en Chine, impliquant trois groupes de familles. Selon les auteurs, des gouttelettes et/ou des particules d'aérosols venant d'un sujet infecté ont été transportées via le flux d'air de la climatisation jusqu'à deux autres familles qui ont été ainsi contaminées. Par ailleurs, la ventilation du local était insuffisante. La conclusion était que pour prévenir la propagation du virus dans les restaurants, il est recommandé d'augmenter la distance entre les tables et d'améliorer la qualité de la ventilation par l'adjonction d'air neuf.

D'autres cas décrits au Japon, en Allemagne et sur le navire de croisière *Diamond Princess* ont amené Correia et al. (2020) à estimer que la transmission du SARS-CoV-2 par voie aérienne est possible et que les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, lorsqu'ils ne sont pas utilisés ou entretenus correctement, peuvent contribuer à la transmission du virus. Les auteurs ont examiné l'impact possible des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation dans les bâtiments, tels que les hôpitaux ou autres établissements de santé, en tant que facteurs de propagation du virus. Les particules en suspension dans l'air qui se diffusent peuvent être transportées par les mouvements d'air dus aux systèmes de ventilation et d'air conditionné. La formation d'aérosols permet au virus d'être transporté sur de plus longues distances par le flux d'air.

La plupart de ces superspreading events ont lieu

- À l'intérieur :
- Dans des locaux mal ou non ventilés, ou encore dont l'air recirculé sans apport d'air neuf ;
- Avec un taux d'occupation élevé (grand nombre de personnes);
- Et où des personnes restent présentes pendant une période significative.

Dans ces conditions, les aérosols chargés en virus émis par une personne infectée s'accumulent au cours du temps et finissent par atteindre une concentration suffisante pour infecter par inhalation d'autres personnes présentes dans le local, même si elles respectent les distances de sécurité (De Cock, 2020).

Ces événements de super-propagation soulignent donc l'importance de correctement aérer les espaces intérieurs, et la nécessité de toujours y porter un masque même si les distances de sécurité sont respectées, et certainement dans les espaces clos insuffisamment ventilés. Il serait préférable d'éviter les espaces intérieurs mal ventilés et bondés, ou d'y séjourner le moins longtemps possible.

1.3 Importance des aérosols sur la transmission du SARS-CoV-2

1.3.1 De quelle taille sont les gouttelettes exhalées ?

Des gouttelettes de tailles différentes sont produites lors de l'expiration de l'air non seulement en toussant ou éternuant mais aussi en parlant, criant, chantant et tout simplement en respirant au niveau des voies respiratoires inférieures, du larynx, des voies respiratoires



supérieures et de la cavité buccale. La taille (le diamètre) de ces particules est d'environ 0,5 µm (micromètre, micron, un millième de millimètres) et peut aller jusqu'à environ 1 000 µm (Johnson et al., 2011; Morawska et al., 2009). Une fois expirées, ces gouttelettes se déshydratent partiellement dans l'air environnant pour atteindre un diamètre réduit d'un facteur de 0.35 à 0.5 par rapport à la taille initiale en fonction de l'humidité relative⁶ (Nicas et al., 2005; Xie et al., 2007). Les expériences en laboratoire de Johnson et al. (2011) établissent un lien entre la taille des particules rejetées et l'endroit où elles se sont formées. Dans les voies respiratoires, les particules expirées dont le diamètre se situe entre 0,5 - 10 µm se forment dans les voies respiratoires inférieures (dispersion du film liquide bronchiolaire) et au niveau du larynx. Les particules dont le diamètre se situe entre 10 - 800 µm se forment surtout dans la cavité buccale. Les mesures démontrent que l'intensité de l'émission de particules lorsqu'une personne parle normalement, ainsi que la distribution des tailles sont positivement corrélées à la distribution du volume vocal (niveaux sonores) (Asadi et al., 2019 ; Morawska et al., 2009). En outre, une petite partie des individus se comporte en « super-émetteurs » lorsqu'ils parlent; ces derniers libèrent systématiquement une quantité de particules plus importante que la plupart des personnes examinées.

La toux, l'éternuement et le fait de chanter ou de parler avec un grand volume sonore conduisent à l'émission d'un nombre plus important de particules. Certaines personnes, les « super-propagateurs », émettent plus de particules.

1.3.2 Quelle est la différence entre les aérosols et les gouttelettes ?

La respiration donne lieu à un spectre de petites particules qui, dans un contexte médico-épidémiologique, sont scindées, quelque peu artificiellement, en d'une part, les « aérosols » (également appelés *droplet nuclei*) et, d'autre part, les « gouttelettes ». Cette répartition reflète les différences fondamentales entre les deux catégories de particules au niveau de la transmission de virus. Les aérosols ont tendance à pénétrer plus profondément dans les poumons et restent en suspension dans l'air (par définition) durant une période allant de dizaines de secondes à plusieurs heures et peuvent se répandre sur de plus grandes distances en fonction de la taille des particules d'aérosol et des flux d'air. La concentration est la plus importante à proximité du propagateur et ils se répandent dans l'espace disponible au bout d'un certain temps. En revanche, les gouttelettes se déposent au sol à une distance horizontale maximale d'environ 2 m en quelques secondes.

Différentes instances consultatives et lignes directrices officielles définissent les particules inférieures à 5 µm comme « aérosols » et les particules de taille plus importante comme « gouttelettes ». Cette définition repose vraisemblablement sur le fait que les particules inférieures à 5 µm peuvent pénétrer profondément dans les voies respiratoires alors que les particules plus grandes se limitent plutôt à la cavité orale et aux voies respiratoires supérieures. En réalité, si cette distinction reposait sur les lois de la physique, la limite entre particules en suspension dans l'air et les particules balistiques ne se situerait pas à 5 µm mais plutôt aux environs de 100 µm. En effet, les gouttelettes de 100 µm mettent environ 6 secondes pour atteindre le sol d'une hauteur de 1,5 m. Pour les gouttelettes de 10 et 5 µm, cela prend respectivement 8 et 30 minutes. Des *droplet nuclei* / aérosols plus petits encore restent en suspension dans l'air pendant plusieurs heures (Hinds, 2012 ; van Doremalen et al., 2020). Il est donc important de garder à l'esprit que des gouttelettes d'un diamètre supérieur à 5 µm peuvent également se déplacer sur une distance relativement grande. De plus, selon Fenelly (2020), la variabilité de la transmission des agents pathogènes respiratoires semble moins dépendre de la taille physique des particules émises par la

_

⁶ Sachant que les petites gouttelettes (0.5 –50 mm) s'évaporent plus vite, indépendamment de l'humitidé relative (Rehva, Morawska 2006).

personne infectée que d'autres paramètres, dont notamment des facteurs biologiques tels que la taille de l'inoculum émis et la capacité de l'agent pathogène à survivre à la dessiccation.

Pour en revenir à l'ordre de grandeur (diamètres) pour les particules expirées constaté par Johnson et al. (2011), dont il était question ci-dessus, la première source d'émission (bronches/larynx) peut être considérée comme principalement responsable de l'émission d'aérosols, tandis que l'émission orale peut être principalement associée aux gouttelettes balistiques.

Les particules expirées sont généralement scindées en « aérosols » d'une part, et en « gouttelettes », d'autre part, sur la base de leur diamètre. Les particules d'un diamètre inférieur à 5 µm ont la capacité de pénétrer profondément dans les voies respiratoires. Ce sont les aérosols. Cette distinction ne repose donc pas exclusivement sur la capacité de rester en suspension dans l'air pendant un certain temps : en effet, même les gouttelettes supérieures à 5 µm peuvent se déplacer sur une distance relativement importante. On peut dès lors s'interroger sur l'utilité d'une approche purement binaire dans le contexte de la transmission aéroportée du virus SARS-CoV-2 (diamètre inférieur ou supérieur à 5 µm), étant donné qu'il y a davantage de facteurs impliqués que la taille des particules.

1.3.3 À quelle distance les gouttelettes rejetées sont-elles expulsées ?

La portée horizontale des gouttelettes rejetées (par une personne debout ou assise) dépend fortement de l'humidité relative de l'air ainsi que de la force de l'expulsion (respirer, tousser, etc.). Les gouttelettes entre 70 et 400 µm ont une portée horizontale de moins de 1 m lors d'une élocution d'amplitude normale et d'environ 1.5 m lors d'une toux (Chen et al. 2020) tandis que Xie et al. (2007) calculent une portée horizontale⁷ de 1 m (fait de parler) jusqu'à 6 m (fait d'éternuer) pour les gouttelettes balistiques sur une distance verticale de 2 m. Sur la base de modèles de calcul tenant compte de la position et de la géométrie faciale de personnes inhalant et exhalant se faisant face, et du trajet des gouttelettes balistiques, Chen et al. concluent que les gouttelettes constituent le principal vecteur de transmission à très courte distance (20 cm en parlant, 50 cm en toussant) mais que lorsque les personnes se parlent à une distance normale (50 - 90 cm), le vecteur principal de transmission réside dans l'inhalation d'aérosols dont la concentration diminue avec la distance. Une fois de plus, il n'est pas possible de définir précisément la distance à partir de laquelle leur concentration devient négligeable. Cependant, en raison de leur longue durée de vie, dans des espaces confinés et non ventilés, leur concentration dans l'ensemble de la pièce peut augmenter avec le temps.

directions de façon aléatoire.

⁷ Les gouttelettes jusqu'à 400 µm ont ceci de particulier que la vitesse de leur expulsion horizontale se trouve rapidement réfrénée par l'air à mesure qu'elles se rapprochent du sol du fait de la gravité. Les plus grandes gouttelettes ont une portée horizontale plus grande lors de l'expulsion du fait de leur plus grande inertie bien qu'elles tombent plus vite du fait de la gravité. Les particules inférieures à 70 µm sont très rapidement réfrénées dans leur mouvement horizontal après expulsion et moins influencées par la gravité. De ce fait, elles se déplacent lentement après un court laps de temps par diffusion dans toutes les

Les gouttelettes constituent le principal vecteur de transmission à très courte distance (20 - 50 cm), mais l'inhalation d'aérosols constitue le vecteur principal lorsque les personnes se parlent à une distance normale (50 - 90 cm). Bien qu'il soit connu que la concentration des aérosols diminue avec la distance, il n'est pas possible de définir précisément la distance à partir de laquelle celle-ci devient négligeable. Ceci confirme une fois de plus l'importance de garder une distance d'au moins 1,5 m pour parler avec une autre personne.

1.3.4 Comment le virus se transmet-il via les gouttelettes et aérosols ?

Toutes les particules expirées (aérosols et gouttelettes) sont suffisamment grandes pour véhiculer des virus tels que le SARS-CoV-2, mais seuls les aérosols, dont le diamètre est inférieur à 5 µm, ont une taille qui leur permet de pénétrer facilement profondément dans les voies respiratoires (Heyder et al., 1986; Rissler et al., 2017). Il convient de souligner que les poumons ne sont pas nécessairement le lieu de contamination et que la cavité orale et la gorge peuvent l'être tout autant. Les aérosols sont associés à une transmission directe par inhalation tandis que les gouttelettes sont responsables d'une transmission par dépôt direct sur les muqueuses de la bouche, du nez et des yeux lors d'un contact rapproché (à une distance inférieure à 2 m) ou par auto-inoculation suite à un contact avec un objet contaminé.8

Bien que la quantité des particules expirées (gouttelettes d'une taille inférieure à 100 µm et aérosols) soit inférieure de plusieurs ordres de grandeur à celle des gouttelettes de taille plus importante, leur présence sur une plus longue distance peut entraîner des contaminations, surtout dans le cas d'un séjour prolongé dans un espace mal ventilé (ceci est comparable à la propagation et l'accumulation de fumée en présence d'un fumeur dans une pièce)⁹. Bien que le degré de contagiosité du SARS-CoV-2 soit beaucoup moins élevé que celui de la rougeole pour citer un exemple, et que la transmission sur une longue distance soit moins vraisemblable, une mauvaise ventilation combinée à un volume vocal élevé et/ou une respiration intensive, l'absence de masques et une présence prolongée dans le même espace qu'une personne contaminée peut néanmoins entraîner l' inhalation cumulative d'une dose infectieuse. De telles conditions peuvent même aboutir aux fameux événements de superpropagation, et trouvent leur confirmation dans différents cas attestés qui ne peuvent pas s'expliquer par une transmission directe via des gouttelettes par le biais des muqueuses ou de surfaces contaminées, comme dans le cas connu de la répétition de la chorale Skagit le 10 mars 2020 (Hammer et al., 2020).

.be

⁸ Les excrétions virales ou gouttelettes expulsées par les personnes infectées peuvent contaminer des surfaces et objets permettant la transmission du virus sur les muqueuses des yeux, du nez ou de la bouche. L'on ne s'attarde pas sur ce type de transmission dans le cadre du présent article.

⁹ Lors de la transmission par inhalation, on distingue encore l'inhalation à courte distance (« *short range* »), c'est à dire lorsqu'une seconde personne inhale directement de l'air expiré à courte distance, de l'inhalation à longue distance (« *long range* »), c'est à dire lorsque les particules en suspension dans l'air se répandent dans le local et se diluent dans l'air ambiant avant d'être inhalées par une ou plusieurs personnes.

Les gouttelettes sont responsables d'une transmission par dépôt direct sur les muqueuses de la bouche, du nez et des yeux lors d'un contact rapproché (à une distance inférieure à 2 m) ou par auto inoculation suite à un contact avec un objet contaminé. En revanche, les aérosols sont associés à une transmission directe par inhalation. Il est évident qu'en termes d'unités de temps, la transmission, est plus probable à courte distance qu'à longue distance. Néanmoins, une mauvaise ventilation combinée à un volume vocal élevé et/ou une respiration intensive, l'absence de masques et une présence prolongée dans le même espace qu'une personne contaminée peut entraîner l'inhalation cumulative d'une dose infectieuse.

1.3.5 Durée du caractère infectant du virus dans l'aérosol

Un facteur encore inconnu pour l'évaluation de la transmission par aérosols du SARS-CoV-2 réside dans la concentration des particules virales dans les aérosols¹⁰ émis ainsi que la viabilité des virus dans l'air ambiant et les aérosols. Une étude récente sur la grippe a démontré qu'une personne contaminée pouvait diffuser des virus viables infectieux en respirant ou en parlant, sans tousser ni éternuer (Yan et al., 2018). Booth et al. (2005) ont observé que des patients hospitalisés après avoir été infectés par le SARS-CoV-1 durant l'épidémie de 2003 généraient des aérosols contenant des virus viables. Bien que des virus SARS-CoV-2 viables aient été détectés dans des aérosols selon des études récentes (Lednicky et al., 2020; Santarpia et al., 2020), la revue systématique de Birgand et al. (2020) a conclu que peu d'échantillons prélevés dans l'air proche et éloigné de patients atteints de la Covid-19 contenaient des virus viables. Une expérimentation récente effectuée par Van Doremalen et al. (2020), dans un récipient fermé – donc loin des conditions réelles - démontre que des virus SARS-CoV-2 pulvérisés (artificiellement) demeurent viables dans l'air à raison d'une période de demi-vie d'une heure. 11 Ils en ont conclu ce que tant la transmission par aérosols que celle par le biais de surfaces contaminées au SARS-CoV-2 sont plausibles étant donné que le virus peut demeurer viable et contagieux des heures durant dans les aérosols et sur les surfaces. La recherche épidémiologique et expérimentale démontre qu'une grande diversité de virus respiratoires dont le coronavirus Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS-CoV), le coronavirus Middle East Respiratory Syndrome (MERS-CoV), le virus de la grippe et le norovirus sont transmissibles via les aérosols (Brankston et al., 2007 ; Lopman et al., 2012; de Wit et al., 2016; Xiao et al., 2018).

Des études expérimentales récentes montrent que le virus peut probablement demeurer viable et contagieux longtemps dans les aérosols, même des heures durant sur les surfaces. Par conséquent, la transmission par aérosols est plausible. Ce constat est conforme aux recherches épidémiologiques et expérimentales qui ont démontré qu'une grande diversité de virus respiratoires sont transmissibles via les aérosols.

1.3.6 Que disent les experts en aérosols sur la transmission par aérosols?

Le rôle respectif des deux modes (aérosols ou gouttelettes) dans la transmission du virus fait toujours l'objet de discussions et est également d'une grande importance pour déterminer les mesures optimales à prendre afin d'en endiguer la propagation. Il convient toutefois de prendre note du fait que si la transmission devait s'effectuer exclusivement par projection

.be

¹⁰ Liu et al. (2020) ont identifié des virus dans des aérosols appartenant à deux fourchettes de taille différentes, l'une de niveau submicronique (0,25 - 1 μm), l'autre de niveau supermicronique (> 2,5 μm). Les auteurs émettent l'hypothèse que les aérosols supermicrométriques chargés de virus proviennent de la remise en suspension de gouttelettes respiratoires ou du SARS-CoV-2 aéroporté déposé sur les surfaces.

¹¹ Smither et al. (2020) ont réalisé une analyse comparative de la capacité du SARS-COV-2 à survivre dans des aérosols sous différentes conditions (dans l'obscurité, à deux taux d'humidité différents, dans de la salive artificielle et dans un milieu de culture tissulaire). Des virus viables pouvaient encore être détectés après 90 minutes. Les taux de décroissance variaient entre 0,4 et 2,27 % par minute et les demi-vies de 30 à 177 minutes en fonction de ces différentes conditions.

directe de gouttelettes, la ventilation n'aurait aucune incidence en raison du délai très rapide de transmission.

Si, en juillet, l'OMS demeurait encore plutôt réservée quant au rôle éventuel des aérosols dans la transmission du virus (cf. ci-dessus), l'évidence scientifique graduellement accumulée depuis lors l'a amenée à revoir sa position. Selon Anderson et al. (2020), les éléments de preuve disponibles (cités ci-dessus) sont suffisamment probants pour que l'on s'intéresse dès à présent au rôle important joué par les aérosols et à ses conséquences pour s'atteler à la protection de la santé publique. Tang et al. (2020) accordent à la transmission par aérosols du SARS-CoV-2 un score de plausibilité de 8 sur 9 sur base de critères définis par Jones and Brosseau (2015) :

- 1) Du matériel génétique du SARS-CoV-2 en ce inclus des virus viables a été observé dans l'air environnant les patients COVID-19 ;
- 2) Le SARS-CoV-2 peut survivre 16 heures dans les aérosols et il existe des preuves épidémiologiques d'une transmission par aérosols dans différents environnements comme par exemple entre appartements, dans un restaurant, une chorale ou un bus ;
- 3) Le SARS-CoV-2 peut atteindre les récepteurs ACE2 dans les voies respiratoires par inhalation et les modèles animaux ont en outre démontré que la transmission et la multiplication du SARS-CoV-2 dans les voies respiratoires peuvent s'effectuer en l'absence de tout contact rapproché.

Selon Jimenez (2020), l'hypothèse d'une transmission par aérosols du SARS-CoV-2 explique l'énorme différence de risque de contamination entre les espaces clos et l'air libre.

Les chercheurs sont de plus en plus nombreux pour s'accorder sur le fait que les aérosols jouent un rôle important dans la transmission du SARS-CoV-2. La transmission par aérosols contribue à expliquer la différence de risque de contamination entre les espaces clos et l'air libre.

1.3.7 Conclusion

Les voies de transmission généralement admises pour les pathogènes respiratoires ne sont pas toutes pertinentes pour toutes les infections par voie respiratoire. Le mode de transmission le plus fréquent dépend de la combinaison d'un certain nombre de facteurs dont la fréquence et l'intensité de la formation de gouttelettes (tousser, éternuer, crier, parler, ...), la taille des gouttelettes, l'humidité de l'air relative, la charge virale, la vitesse d'inactivation du virus, la zone de dépôt des gouttelettes inhalées dans les voies respiratoires et la dose infectante. L'identification du mode dominant de transmission est essentielle pour esquisser une stratégie correcte et efficace dans le but de maîtriser la propagation d'une épidémie, en ce inclus le choix pertinent des équipements de protection personnelle. Les découvertes les plus récentes montrent que le SARS-COV-2 peut se disséminer très vraisemblablement aussi via les aérosols, tandis que les aérosols peuvent être transmis à courte distance (inhalation directe de particules expulsées) ainsi que sur de longues distances (après propagation dans les espaces intérieurs). A courte distance, le facteur important est la transmission par gouttelettes. L'importance de la transmission via les aérosols joue certes à proximité immédiate mais augmente avec la distance.



La distance physique¹² est surtout efficace contre la transmission via des gouttelettes, mais n'offre pas une protection suffisante contre la transmission via les aérosols dans les espaces clos où la ventilation est insuffisante, car les aérosols peuvent se répandre dans toute la pièce.

La reconnaissance du rôle de la transmission par aérosols est importante pour comprendre et éviter les événements de super-propagation dans des espaces mal ou non ventilés - chose qui ne peut pas s'expliquer par une transmission par gouttelettes. Le port du masque, même lorsque les distances sont respectées, et certainement dans les espaces clos insuffisamment ventilés, l'évitement des lieux clos surpeuplés et le fait d'y demeurer peu de temps sont donc de la plus haute importance pour réduire l'exposition aux aérosols. Il importe de souligner que les écrans faciaux ou cache bouche parfois utilisés en lieu et place des masques et les parois en plexiglas n'offrent qu'une protection relative contre l'inhalation d'aérosols et devraient de préférence être de pleine hauteur.

1.4 Autres facteurs : température et humidité relative

En général, les facteurs environnementaux peuvent avoir un impact sur la transmission des maladies respiratoires en affectant l'infectiosité des agents pathogènes et la propagation des gouttelettes et aérosols respiratoires. Des études suggèrent que, pendant la propagation des gouttelettes et aérosols respiratoires, les flux d'air et l'évaporation déterminent toutes deux l'efficacité de la propagation du virus (Zhao et al., 2020).

Selon la revue systématique de Noorimotlagh et al. (2020), la température et l'humidité relative sont des facteurs importants pour la survie du SARS- CoV-2 dans les gouttelettes respiratoires. Ainsi, la transmission de maladies respiratoires par les gouttelettes sur les surfaces est inhibée par l'augmentation de la température et une augmentation (Ahlawat et al., 2020) de l'humidité relative dans les bâtiments tels que les hôpitaux, les écoles, les universités, les bureaux et les maisons. Toutefois, d'autres études contredisent cette affirmation. Par exemple, Casanova et al. (2010) indiquent qu'à 20 °C, l'inactivation à basse et haute HR reste relativement limitée et est la plus élevée dans le cas d'une HR de 50 %. Une forte inactivation est obtenue à 40 °C, mais pour un environnement intérieur, cela n'est pas pertinent.

La relation entre l'humidité relative, la température et l'inactivation du SARS- CoV-2 est donc complexe et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour identifier ces effets au niveau physiologique.

Les virus ont besoin d'un hôte pour survivre, ils se décomposent donc sur les surfaces, d'autant plus rapidement lorsque l'humidité ou la température augmentent mais le volume des gouttelettes et le type de surface (acier inoxydable, plastique ou gant en nitrile) ont un impact significatif sur la dégradation du virus (Biryukov et al., 2020).

Dans l'étude de Zhao et al. (2020), la propagation des gouttelettes respiratoires et des particules d'aérosol générées par la parole a été étudiée dans une large gamme de conditions de température (0 - 40 °C) et d'humidité relative (0 - 92 %). L'étude a montré que les gouttelettes peuvent se propager trois fois plus loin dans un environnement à basse température et à forte humidité, alors que le nombre de particules d'aérosol augmente dans les environnements à haute température et à faible humidité (typiquement les espaces clos chauffés en hiver.

Une humidité relative de 40 à 60 % est optimale pour la santé humaine. Une humidité relative trop faible réduit la résistance immunitaire aux micro-organismes (Taylor, 2020), mais les

12



¹² L'utilisation du terme « distanciation physique » est préférable à l'utilisation du terme « distanciation sociale ». En effet, ce dernier pourrait impliquer que toutes les interactions sociales significatives doivent être coupées. Le terme « distanciation physique », quant à lui, tient compte du fait que les liens sociaux sont possibles même si les personnes sont physiquement séparées. (Van Bavel et. al. 2020)

muqueuses de l'oreille, du nez et de la gorge humaines combattent mieux les virus à une humidité relative plus élevée (Hohmann-Jeddi, 2019).

Un autre facteur est la sensibilité accrue aux infections respiratoires des muqueuses dans certaines conditions de température et d'humidité. En ce qui concerne la température, la fréquence des battements ciliaires des cellules épithéliales trachéales diminue de manière significative lorsque l'on respire de l'air froid. Cela pourrait peut-être expliquer pourquoi, en hiver (par exemple au ski), les personnes sont plus sensibles aux virus respiratoires, en éliminant moins facilement ceux-ci (moins de clairance mucociliaire) (Kilgour et al., 2004). De plus, une faible humidité diminue également la fréquence des battements ciliaires, ce qui entraîne une diminution de la clairance mucociliaire (Horstmann et al., 1977).

C'est donc un élément à prendre en compte, les systèmes mécaniques de ventilation jouant aussi un rôle important dans l'humidification (ou pas) de l'air, sans pour autant être l'élément le plus significatif.

Diverses études montrent que la température et l'humidité relative influencent le caractère infectieux du SARS-CoV-2, la propagation des gouttelettes et aérosols respiratoires, ainsi que la sensibilité des muqueuses des personnes.

Néanmoins, les mécanismes sont trop complexes que pour agir correctement sur ces deux éléments. Le contrôle précis de la température et de l'humidité relatives ne seront donc pas les stratégies appropriées dans la limitation du risque de transmission du SARS-CoV-2 par voie aéroportée, ce qui se reflète dans les recommandations du REHVA, centrées principalement sur l'augmentation de la ventilation d'air neuf.

1.5 Conclusions

En conclusion, il est établi que la transmission se produit principalement lors d'un contact prolongé et rapproché, mais peut également se produire à de plus grandes distances dans des circonstances particulières, telles qu'une ventilation insuffisante dans des espaces fermés intérieurs.

Il ne suffit pas de maintenir une distance de sécurité de 1,5 m mais aussi assurer une bonne ventilation dans les espaces intérieurs.

Les critères principaux augmentant le risque de contamination par les aérosols sur longue distance sont :

- Une concentration plus élevée de particules infectieuses dans un local due :
 - À des sources d'agents infectieux (nombre de personnes infectées, activité, charge virale des personnes infectées, etc.);
 - Au taux de renouvellement d'air (débit de ventilation, volume de la pièce, courants d'air, etc.);
- La durée d'exposition ;
- La stabilité des aérosols et viabilité du virus (température, humidité, système de désinfection, etc.).



2 Limiter les risques de contamination

2.1 Règles de base classiques

Comme expliqué sous le point 1.1, le virus SARS-CoV-2 se propage soit par voie aérienne (inhalation d'aérosols), soit par des gouttelettes plus lourdes qui atteignent directement les muqueuses des personnes à proximité de la personne contaminée (1 - 2 m) ou les atteignent indirectement lorsque celles-ci touchent des surfaces sur lesquelles ces gouttelettes se sont déposées (fomites) et s'auto-inoculent les muqueuses des voies respiratoires

La prévention des risques de contamination repose donc sur la prévention de tout contact avec les gouttelettes et aérosols infectieux ainsi que l'hygiène des mains après contact avec des surfaces potentiellement contaminées avant de toucher un masque ou le visage. Les règles de base énoncées depuis le début de la crise sanitaire restent donc d'application.

Un premier geste essentiel consiste à **conserver une distance d'au moins 1,5 m, de préférence de 2 m** par rapport à d'autres personnes afin de se tenir en dehors de la portée des gouttelettes les plus lourdes, et en dehors d'une zone de concentration importante d'aérosols infectieux.

Afin d'éviter l'émission de gouttelettes infectieuses, ainsi que l'inhalation de ces dernières, sur courte distance, le **port du masque** est fondamental. Celui-ci doit recouvrir le nez, la bouche et le menton.

En ce qui concerne la protection contre les aérosols, le port du masque chirurgical ne protège malheureusement pas complètement. Les aérosols suivent facilement les flux d'air et peuvent passer à travers le masque par des fuites le long des bords. Pour être efficace, tout l'air inhalé et exhalé doit passer à travers le tissu du masque. Il est donc essentiel qu'il soit bien ajusté sur les côtés. Il est à noter que l'efficacité des masques pour le grand public (chirurgicaux et « faits maison ») pour la protection contre les aérosols varie considérablement (de 26,5 % à 79 % selon Clapp et al., 2020 ; à 30 % pour Davies et al., 2013). A réserver aux professionnels de santé, les FFP2 (N95) offrent une meilleure protection contre les aérosols avec une efficacité théorique de 94 %, réduite à 90 % en moyenne pour l'émission et l'inhalation, à cause d'un port et un ajustement du masque incorrects en pratique. Les recommandations plus complètes sur l'usage et les types de masques sont disponibles sur le site de Sciensano.

Par ailleurs, le virus reste actif sur les surfaces pendant plusieurs heures, voire plusieurs jours. Il est donc primordial de **se laver régulièrement les mains** de façon correcte avec de l'eau et du savon ou d'utiliser un gel hydroalcoolique, et de **nettoyer et/ou désinfecter régulièrement les surfaces**¹³, surtout celles qui sont régulièrement touchées (poignées de porte, robinets, écrans de téléphone). Il faut éviter de se toucher les yeux, le nez et la bouche afin d'éviter d'y transférer le virus. La manipulation correcte du masque est également critique : s'assurer qu'il couvre bien le nez et la bouche et veiller à l'hygiène des mains après avoir touché le masque.

En cas de toux ou d'éternuement, il convient de se couvrir la bouche et le nez avec le pli du coude ou un mouchoir en papier qui sera ensuite jeté dans une poubelle fermée.

_



¹³ Il est recommandé de désinfecter les surfaces dures/non-poreuses que l'on touche fréquemment avec de l'eau de Javel diluée : https://www.info-coronavirus.be/fr/news/nettoyer-maison/.

Les règles de base classique pour limiter les risques de contamination sont :

- Respecter une distance physique d'au moins 1,5 m, de préférence de 2 m, avec les autres personnes ;
- Porter un masque couvrant le nez et la bouche et bien ajusté au visage ;
- Se laver ou se désinfecter régulièrement les main ;
- Nettoyer et/ou désinfecter régulièrement les surfaces.

2.2 Diluer la concentration de virus dans l'air : aérer / ventiler

La transmission du virus SARS-CoV-2 est beaucoup plus courante à l'intérieur qu'à l'extérieur, à cause du manque d'aération et du fait de la concentration croissante du virus au cours du temps si une personne malade est présente et que le local est insuffisamment aéré.

En effet, en plein air et dans les grands espaces, les aérosols produits par des personnes infectées se diluent dans le volume important d'air.

Par contre, dans les espaces intérieurs plus petits et confinés, les aérosols de particules virales produites s'accumulent et se concentrent. Le risque augmente avec la durée de séjour dans ces espaces.

Pour diminuer le risque de concentration de virus dans les locaux intérieurs, la première recommandation donnée par le REHVA est de ventiler le plus possible les locaux intérieurs, celle-ci ayant un impact sur la distribution et la charge biologique des aérosols infectieux. En effet, ventiler une pièce avec 100 % d'air neuf, évite l'accumulation de particules virales dans celle-ci, par renouvellement de l'air.

Le HCSP (HCSP a, 2020) propose également une stratégie de dilution dans les bâtiments sans ventilation mécanique en même temps que des mesures d'étanchéité entre différents locaux (par ex. en plaçant un boudin au bas de porte) afin de limiter la dispersion de particules d'aérosol virales par l'air d'une pièce à l'autre.

Une recherche en mécanique des fluides menée par l'Université de Cambridge et publiée dans la revue *Journal of fluid mechanics* (Baghat et al., 2020) examine le rôle de la ventilation des bâtiments sur les voies de passage possibles des particules en suspension dans l'air. L'importance d'une bonne ventilation et du port du masque y sont soulignés.

Il est important de préciser que la ventilation ne peut pas être la seule stratégie de limitation des risques car elle ne peut avoir un impact que sur le risque de contamination à une distance plus importante que 1,5 ou 2 m d'une personne infectée (« far-field ») . La ventilation est une mesure de dilution des polluants – et donc de la charge virale dans le « far-field » d'un espace, mais ne contribuera pas à la limitation du risque de contamination par grosses gouttelettes et aérosols plus concentrés dans l'environnement très proche de la personne infectée. La ventilation ne remplace donc pas le port du masque, la limitation du nombre de personnes dans une pièce, ni le maintien d'une distance physique (voir point 2.1).

Afin de diminuer le risque de contamination par voie aéroportée d'aérosols dans les espaces intérieurs petits et confinés, la meilleure stratégie est de diminuer la concentration de virus dans l'air en ventilant suffisamment l'espace avec 100 % d'air neuf. Cette stratégie n'a par contre pas d'effet sur le risque de contamination par grosses gouttelettes à courte distance. C'est pourquoi, même dans un espace correctement ventilé, le port du masque et la distance physique restent essentiels.



3 La ventilation

3.1 Principes généraux de ventilation

Le paragraphe suivant aborde brièvement les principes généraux de la ventilation. Une description plus détaillée est proposée notamment dans la note d'information technique n° 258 du CSTC (2016) à destination du résidentiel¹⁴.

La ventilation a pour but d'assurer le renouvellement de l'air dans les bâtiments afin d'évacuer les polluants de l'air intérieur. Elle consiste en l'évacuation de l'air intérieur vicié d'une part et l'alimentation en air neuf extérieur d'autre part.

Les polluants intérieurs évacués par la ventilation sont notamment : le CO₂ et les bioeffluents émis par les personnes, les polluants chimiques (émis par les matériaux et le mobilier), les agents biologiques (bactéries, virus), les poussières, l'humidité émise par les personnes ou certaines activités, etc.

Pour la ventilation de base, les concepts de ventilation sont les suivants :

- Ventilation complètement naturelle: alimentation naturelle de l'air neuf via des dispositifs spécifiques (par exemple des grilles dans les châssis de fenêtre), et évacuation naturelle de l'air vicié via d'autres dispositifs spécifiques (par exemple des conduits verticaux et débouchés en toiture);
- Ventilation mécanique par extraction : alimentation naturelle de l'air neuf comme décrit ci-dessus et évacuation mécanique de l'air vicié ;
- Ventilation mécanique par pulsion (peu utilisé en Belgique) : alimentation mécanique de l'air neuf, et évacuation naturelle de l'air vicié via d'autres dispositifs spécifiques (par exemple des conduits verticaux et débouchés en toiture);
- Ventilation complètement mécanique : alimentation et évacuation mécaniques.

La ventilation complètement mécanique permet généralement de mieux contrôler les débits de ventilation que la ventilation complètement ou partiellement naturelle. La ventilation complètement naturelle dépend uniquement des forces motrices naturelles dues au vent et aux différences de température entre intérieur et extérieur.¹⁵

A côté de cette ventilation de base, l'ouverture des fenêtres peut également contribuer à l'aération et la ventilation intensive des locaux. Dans un bâtiment dépourvu d'un système de ventilation de base, l'ouverture des fenêtres sera le seul moyen d'assurer un renouvellement de l'air dans les locaux. Comme pour la ventilation complètement naturelle, le renouvellement d'air via les fenêtres dépend des forces motrices dues au vent et aux différences de température entre intérieur et extérieur. Cette mesure n'est donc pas facilement contrôlable, des solutions existent néanmoins pour améliorer son efficacité. 16

La ventilation est un élément important de nombreux types de constructions et bâtiments, que ce soit des maisons individuelles, des immeubles d'appartements, des bureaux, des hôtels, des institutions de soins et des hôpitaux, des petits magasins aux grands centres commerciaux, ainsi que les véhicules (voitures, trains, avions, navires).

https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/Fiches_ventilatie_2017.pdf

https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&serie=14&id=CSTC99594

.be

¹⁴ Ce document est payant pour les non-membres de la CSTC. D'autres sources d'information sont : https://energieplus-lesite.be/

https://omgeving.vlaanderen.be/bouw-gezond

¹⁵ Les systèmes partiellement naturels dépendent également des forces motrices naturelles, mais dans une moindre mesure que les systèmes entièrement naturels en raison de la composante mécanique.

¹⁶ Cf. par exemple les directives du ministère de l'enseignement en Flandre : dans les locaux de classe sans système de ventilation mécanique, la recommandation est de ventiler en ouvrant les fenêtres tout en appliquant 2 stratégies : ouverture des fenêtres à des façades opposées et création d'un effet de cheminée en créant des ouvertures situées à des hauteurs différentes. (https://onderwijs.vlaanderen.be/nl/coronamaatregelen-verlucht-en-ventileer-voldoende#adviezen-lokalen-zonder-mechanisch)

Dans certains bâtiments, la ventilation fait partie du concept plus large de chauffage, ventilation et climatisation (en abrégé CVC), soit en anglais *heating*, *ventilation and air-conditioning* (en abrégé HVAC). Il s'agit d'un ensemble de techniques visant à assurer une bonne qualité de l'air d'une part, mais également le confort hygrothermique, grâce notamment au chauffage, refroidissement, humidification et déshumidification éventuelles.

Dans certains de ces systèmes, une partie de l'air (ou 100 % de l'air) est recirculée pour les besoins de chauffage ou de climatisation.

Certains systèmes de ventilation (mécanique par exemple) et de systèmes HVAC sont équipés de filtres. Le but premier de ces filtres est de protéger le système et les composants contre l'encrassement. Dans certains cas, la filtration peut également être utilisée pour améliorer la qualité de l'air neuf ou pour purifier dans une certaine mesure de l'air recirculé.

La ventilation mécanique permet généralement de mieux contrôler les débits d'air que la ventilation complètement ou partiellement naturelle. La ventilation complètement naturelle dépend uniquement des forces motrices dues au vent et aux différences de température entre intérieur et extérieur. Certains systèmes de ventilation (mécanique par exemple) et de systèmes HVAC sont équipés de filtres. Le but premier de ces filtres est de protéger le système et les composants contre l'encrassement. Dans certains cas, la filtration peut également être utilisée pour améliorer la qualité de l'air neuf ou pour purifier dans une certaine mesure de l'air recirculé.

3.2 Impact de la ventilation

3.2.1 Modèles

De nombreuses valeurs et modèles de calcul de risque circulent sur le risque de contamination par voie aéroportée sur de longues distances, notamment le modèle de Wells-Riley. Le REHVA propose sur son site web un outil de calcul basé sur ce modèle, estimant l'effet de la ventilation sur le risque d'infection aéroportée par le SARS-CoV-2. Celui-ci permet d'évaluer le risque de contracter une infection respiratoire par voie aérienne par des personnes séjournant dans une pièce sur une période de temps. Pour cela, il faut connaître le nombre total de personnes dans l'espace ainsi que celles déjà infectées, la taille de la pièce, le niveau de ventilation, le taux quantique (soit la quantité de micro-organismes émise par une personne, mais qui constitue encore un important facteur d'incertitude à l'heure actuelle), le débit inspiratoire (entre 6 et 15 l/min au repos mais jusque 50 - 60 l/min lors d'un exercice physique lourd), le temps de séjour, les autres moyens d'élimination du virus (dépôt, dégradation naturelle), etc. Il est à noter que les évaluations des risques réalisées à partir de ces données peuvent sous-estimer de manière significative le risque réel pour les personnes proches de la source infectieuse du fait ce modèle suppose une situation où l'air est parfaitement mélangé dans l'espace, et qu'il ne concerne que la transmission par aérosols, et pas la transmission par gouttelettes à courte distance.¹⁷

En effet, si les évaluations basées sur ces modèles donnent une bonne indication des risques, elles restent grevées de nombreuses incertitudes¹⁸ et simplifications du fait que ceux-ci reposent sur un certain nombre de paramètres actuellement encore très incertains (par exemple le taux quantique). Ils ne servent qu'à estimer un ordre de grandeur et à explorer les tendances de certaines mesures (ventilation, temps de séjour, port d'un masque). 19

¹⁹ A noter, que, dans ce contexte, les modèles CFD (*computational fluid dynamics*) sont un outil très puissant car ils peuvent fournir un aperçu des flux d'air dans une pièce et donc du mouvement des particules virales. En théorie, une « exposition »



¹⁷ La plus grande limitation de ce modèle est le fait d'être un modèle global, ne prenant pas en compte la distribution locale des polluantes et l'interaction entre la ventilation et cette dernière. Comme mis en évidence pas plusieurs chercheurs, par exemple Baghat et al., 2020 sur JFM, ceci est un aspect clé pour juger l'efficacité de la ventilation et la qualité de l'air intérieur.
¹⁸ "All models are wrong, but some are useful." (George Box)

Il faut donc garder à l'esprit qu'il sera impossible de fixer un niveau de ventilation permettant de supprimer totalement le risque de contamination, ou de fixer précisément le niveau de ventilation requis pour diminuer très fort le risque.

La seule certitude est que le risque est élevé dans les locaux non ou mal ventilés, surtout quand le nombre de personnes par rapport à la surface et au volume du local est élevé, dans lesquels la concentration de virus dans l'air ambiant augmente plus rapidement en présence de personnes contaminantes et que le risque ne pourra pas être annulé en agissant uniquement sur le facteur ventilation. Par conséquent, dans une situation de circulation élevée du virus, les endroits clos, mal ou non ventilés et bondés sont à éviter à tout prix.

Le CSS souligne qu'il est impossible de fixer un niveau de ventilation permettant de supprimer totalement le risque de contamination, ou de fixer précisément le niveau de ventilation requis pour diminuer très fort le risque. La seule certitude est que le risque est élevé dans les locaux non ou mal ventilés, surtout quand le nombre de personnes par rapport à la surface et au volume du local est élevé, dans lesquels la concentration de virus dans l'air ambiant augmente plus rapidement en présence de personnes contaminantes.

3.2.2 Dynamique des masses d'air

Une autre difficulté réside dans le constat que l'air n'est pas distribué de manière égale dans les locaux et que, par conséquent, les concentrations de matériel viral peuvent également varier considérablement d'un endroit à l'autre dans le même local. En effet, les flux d'air à l'intérieur d'un local peuvent être très complexes et turbulents. Ils sont influencés par la position et le type des dispositifs d'alimentation et d'évacuation d'air, et sont perturbés par l'ensemble des éléments présents dans le local (personnes, mobilier, etc.), les activités qui y sont réalisées, les systèmes de chauffage éventuels, etc. L'ouverture des fenêtres et des portes ainsi que les conditions climatiques externes en cas de ventilation naturelle et partiellement mécanique ont aussi une influence importante (Bhagat et al., 2020).

La prise en compte des conditions de flux locales est donc essentielle pour éviter la formation de zones d'air vicié ainsi que pour concevoir des systèmes de ventilation appropriés. Pire, dans certaines situations, des flux d'air défavorables peuvent signifier qu'une augmentation du taux de ventilation induit une concentration en particules et d'aérosols plus élevée dans certaines zones.

Dans de nombreux cas, la ventilation se base sur le principe du mélange. Les dispositifs d'alimentation en air sont conçus pour assurer un mélange de l'air neuf avec l'air du local, et l'air vicié est ensuite évacué à un autre endroit, ou même parfois dans un autre local (couloir, sanitaires, etc.). Le débit d'air amené par la ventilation assure ainsi une dilution de la concentration des polluants dans l'ensemble du local.

En pratique néanmoins, le mélange n'est généralement pas parfait. Des zones à plus forte ou plus faible concentration en polluants sont possibles. Certains flux d'air peuvent également déplacer des polluants depuis une zone du local vers une autre zone du même local par exemple. Pour éviter ces flux d'air non souhaités, il convient de concevoir les alimentations en air en nombre suffisant, correctement réparties et avec un diffuseur approprié à chaque application (plafond, mur, etc.).

La ventilation par déplacement est un concept particulier de distribution de l'air dans un local qui vise à profiter de la différence de température entre l'air neuf plus froid et l'air vicié plus



peut être calculée sur la base de ces modèles, mais ceux-ci sont très complexes et fortement liés à (l'exactitude) des conditions limites. Un modèle de CFD doit toujours être validé par des mesures pour garantir son exactitude. Pour estimer le risque d'infection, le modèle Wells-Riley est recommandé.

⁽Cf. également : https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/calculating-the-risk-of-infection)

chaud pour créer une stratification verticale de l'air (avec une zone plus propre en bas et une zone plus polluée en hauteur), afin d'augmenter l'efficacité de ventilation du local par rapport à une ventilation par mélange. La ventilation par déplacement fonctionne le mieux dans les espaces à haut plafond comme une salle de réunion, une salle de cinéma, etc.²⁰ La ventilation par déplacement nécessite une conception et des composants spécifiques (par exemple, alimentation en air au niveau du sol à faible vitesse, et évacuation de l'air vicié au niveau du plafond). Elle est par ailleurs assez sensible aux perturbations des flux d'air dans l'espace (mouvement des personnes par exemple) et n'est pas applicable dans tous les cas. Elle n'est pas compatible avec l'ouverture des fenêtres.

La prise en compte des conditions de flux locales est essentielle pour éviter la formation de zones d'air vicié ainsi que pour concevoir des systèmes de ventilation appropriés.

3.2.3 Qualité de l'air

La qualité de l'air est une notion complexe, qui dépend des sources de polluant (nombreux différents polluants) dans un local ainsi que du taux de renouvellement d'air de ce local. Il n'existe à ce jour pas de consensus scientifique sur un indicateur universel de qualité de l'air ou sur un taux de renouvellement d'air assurant inconditionnellement la santé des occupants. Historiquement, les débits de ventilation prescrits dans les normes et réglementations sont liés au confort des occupants et à la notion de qualité d'air perçue par les occupants.

La concentration en polluant dans un local (pour une source donnée) diminue inversement avec une augmentation de débit de ventilation, et ceci de manière asymptotique. Il n'existe donc pas un débit à partir duquel la concentration en polluant est nulle, comme l'illustre le graphique suivant :

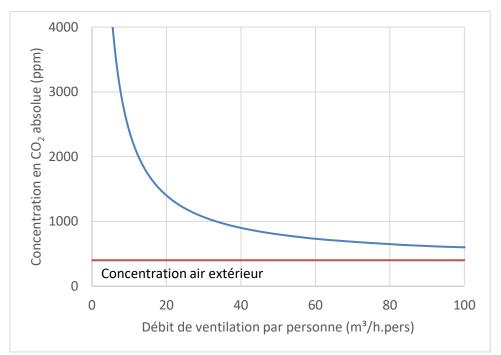


Figure : Illustration de la concentration en CO₂ dans un local en fonction du débit de ventilation par personne (pour un taux d'émission de CO₂ de 20 l/h par personne).

.be

_

²⁰ Ces systèmes ne sont efficaces que pour des locaux de grande hauteur (> 4 m) ; pas pour des locaux classiques (< 3 m), où la lame d'air au-dessus des personnes est peu épaisse.

La norme EN la plus récente sur le sujet, NBN EN 16798-1 définit 4 catégories de qualité de l'air, et des valeurs de débit d'air par défaut correspondantes, basées sur la méthode de qualité de l'air perçue :

	Qualité de l'air	Débit par personne (l/s)
1	High	10
II	Medium	7
III	Moderate	4
IV	Low	2.5

Le débit de ventilation recommandé est de 10 litres par seconde par personne dans un bureau (Atkinson et al., 2009). Dans des circonstances normales, cela représente donc un apport d'environ 36 à 40 m³ d'air neuf par personne et par heure. Dans le contexte du Covid, des calculs ont été publiés indiquant que, en fonction de la durée d'exposition, du nombre de personnes par m² et du volume du local, le besoin d'air neuf peut atteindre une valeur dix fois plus grande, ceci surtout pour des espaces clos de petit volume (Sun & Zhai, 2020). Le problème se pose probablement beaucoup moins pour de grandes salles hautes. Il est à noter néanmoins qu'il ne s'agit que de modèles basés sur de nombreuses hypothèses et incertitudes – notamment la stabilité du virus dans le temps dans un aérosol ; ils sont donc à relativiser.

Dans le contexte des maladies infectieuses telles que la COVID-19, des études ont montré que la transmission du virus par voie aérienne peut être liée à des particules se comportant comme des scalaires passifs (c'est-à-dire des contaminants présents à une concentration si faible qu'ils n'ont aucun effet sur le mouvement du fluide et qui se déplacent, donc, avec le flux principal).

Selon la plupart des avis, notamment les recommandations du REHVA, le niveau de ventilation permettant de diminuer suffisamment le risque est comparable à celui des normes actuelles fixées dans la réglementation. Ces normes ont toutefois été fixées pour des polluants aériens non microbiens, alors que pour les risques microbiens, la concentration en particules à prendre en compte varie en fonction de la dose infectante – non connue pour la COVID 19. Rappelons dans ce contexte que pour la tuberculose, inhaler un seul bacille tuberculeux suffit à être infecté. Dès lors, il semble judicieux de viser des niveaux de ventilation supérieurs à ceux fixés par la réglementation. Des modèles de probabilité de contraction d'une infection au SARS-CoV-2 montrent également que dans beaucoup de situations « normales » et fréquentes, la ventilation nécessaire pour réduire la probabilité d'infection à 2 % (ce qui est encore élevé) dépasse considérablement le débit de ventilation recommandé de 10 litres par seconde (ou 36 m³ par heure) par personne dans un bureau (Atkinson et al., 2009) et peut atteindre des valeurs de 140 m³ (durée d'exposition de 30 minutes) à plus de 1000 m³ par heure par personne (durée d'exposition de 4 heures) (Sun & Zhai, 2020).

Il n'existe à ce jour pas de consensus scientifique sur un indicateur de qualité de l'air universel ou sur un taux de renouvellement d'air assurant inconditionnellement la santé des occupants. Les normes actuelles en matière de débit de ventilation ont été fixées pour des polluants aériens non microbiens. La dose infectieuse du SARS-CoV-2 étant inconnue à ce jour, le CSS préconise de viser des taux de renouvellement d'air nettement supérieurs aux normes en vigueur.

3.2.4 Réglementation

Deux réglementations encadrent les exigences de ventilation :



- a) La réglementation PEB sur la performance énergétique des bâtiments au niveau régional, qui impose un débit de conception minimum pour l'apport, le transfert et l'évacuation d'air dans les différents types de locaux en fonction de leur affectation (résidentiel/non résidentiel). L'installation d'un système de ventilation de base est obligatoire. Seuls 4 concepts de ventilation sont autorisés (ventilation naturelle, ventilation mécanique par extraction, ventilation mécanique par pulsion, ventilation complètement mécanique). Dans le non-résidentiel, le débit de conception minimum de ventilation est de 22 m³/h d'air neuf par personne pour les espaces destinés à l'occupation humaine. Le taux d'occupation d'un local est déterminé par l'équipe de conception. Des valeurs minimales pour le taux d'occupation pour les différents types de locaux sont spécifiées dans la réglementation.
- b) La loi fédérale sur le bien-être et le code du bien-être au travail, révisé récemment²¹ et dont les principes généraux et leur implémentation font l'objet d'une directive pratique²², fixe quant à elle des exigences en termes de renouvellement d'air dans les lieux de travail. Entre autres, l'employeur doit réaliser une analyse de risque pour mettre en place les mesures techniques et/ou organisationnelles afin d'assurer une qualité de l'air suffisante. L'exigence est formulée sous forme d'un débit de ventilation minimum à réaliser ou d'une concentration maximale en CO2 à ne pas dépasser. L'exigence de base est un débit minimum de 40 m³/h par personne ou une concentration en CO₂ maximale de 900 ppm. En dérogation à cette exigence de base, des valeurs de 25 m³/h par personne et de 1 200 ppm peuvent être d'application si l'analyse de risque démontre que la qualité de l'air est équivalente, par exemple grâce à l'utilisation de matériaux de revêtement de sol à faible émission de polluants. Cela oblige l'employeur à réaliser une analyse de risques qui doit par ailleurs aussi être réalisée pour tous les agents physiques, chimiques et biologiques, et qui doit mettre en évidence les meilleurs moyens d'action pour améliorer la qualité de l'air. Dans le cas où on ne sait pas satisfaire aux exigences aujourd'hui, on doit prévoir un plan d'action.23

Si la réglementation PEB s'applique aux nouvelles constructions et fixe des exigences pour le bâtiment, la législation « bien-être au travail » s'applique, elle à tous les bâtiments neufs et existants et fixe des exigences à remplir par l'employeur.²⁴

De nombreuses questions se posent aujourd'hui dans les bâtiments sans ventilation mécanique contrôlée – les plus beaux exemples étant la plupart des écoles²⁵ et des établissements de soins plus anciens. Ceux-ci ne sont peut-être pas tous tout à fait conformes à la législation à l'heure actuelle. La seule option possible actuellement est d'aérer les locaux naturellement en ouvrant les fenêtres. Même si c'est la seule solution actuellement, cette situation n'est pas idéale ni tenable sur le long terme. D'abord, l'ouverture des fenêtres est difficilement applicable en hiver car elle occasionne d'importants inconforts thermiques. Ensuite, le renouvellement d'air par l'ouverture des fenêtres est mal contrôlé en termes de débit (variable en fonction des conditions extérieures), de la distribution de l'air et de la consommation d'énergie.

Le CSS recommande fortement aux autorités de prévoir l'installation d'un système de ventilation conforme aux normes en vigueur dans ces bâtiments – et dans tout bâtiment où

²¹ Arrêté royal du 2 mai 2019 modifiant le code du bien-être au travail en matière de qualité de l'air intérieur dans les locaux de travail.

²² https://emploi.belgique.be/fr/actualites/directive-pratique-qualite-de-lair-interieur-dans-les-locaux-de-travail

²³ « Pour les bâtiments existants qui ne peuvent pas encore satisfaire à ces normes, un plan d'action doit être élaboré pour veiller à respecter ces normes à terme. Une planification par étapes doit être établie pour améliorer progressivement la situation par des mesures à court, moyen et long terme. »

²⁴ La réglementation définit ainsi les exigences, et prévoit des cadres de contrôle (notamment des amendes). En pratique, ce sont probablement les conseillers en prévention et protection au travail qui vont prendre en charge l'analyse de risque et l'élaboration d'un plan d'action et les contrôles devraient être réalisés par l'échelon fédéral.

²⁵ Cf. l'étude de Baloch et al. 2020 sur l'environnement intérieur de 115 écoles réparties dans 23 pays européens a révélé que le taux de CO2 médian dans les classes s'élevait à 1 369 ppm, la taux de ventilation médian à 0,40 ACH. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720333908?via%3Dihub)

un nombre important de personnes doit rester de longues périodes. En l'absence de ventilation de base conforme (ex : la plupart des écoles), l'ouverture des fenêtres en continu est l'unique moyen d'augmenter le taux de renouvellement de l'air.

Le CSS recommande fortement aux autorités de prévoir l'installation d'un système de ventilation conforme aux normes en vigueur dans tout bâtiment où un nombre important de personnes doit rester de longues périodes. Le CSS attire l'attention sur le fait que, en termes de limitation du risque COVID, les normes existantes sont largement insuffisantes si l'occupation des locaux est forte.

En l'absence de ventilation de base conforme (ex : la plupart des écoles), l'ouverture des fenêtres en continu est l'unique moyen d'augmenter le taux de renouvellement de l'air.

3.2.5 Débits et renouvellements d'air réalisés en pratique

Le débit ou le taux de renouvellement d'air²⁶ réalisé dans un local donné dépend du système de ventilation présent, de sa conception, et éventuellement des conditions extérieures (vent et différence de température).

Un système de ventilation de base, par exemple conçu selon la réglementation PEB, doit pouvoir réaliser le débit pour lequel il a été conçu. Dans certains cas, il est possible que le système soit conçu pour un débit plus élevé que le débit minimum prévu dans la réglementation. Les systèmes partiellement ou complètement naturels ont un débit réel qui dépend des conditions extérieures (vent et différence de température). Les débits dans les réglementations étant exprimés par personne, le débit total et le taux de renouvellement d'air d'un local donné dépendent du taux d'occupation de conception de ce local. L'ordre de grandeur du taux de renouvellement d'air pour un système conforme à la réglementation est généralement souvent de l'ordre de 1 ACH. Cette valeur est toutefois clairement insuffisante en termes de prévention de l'infection au SARS-CoV-2.

Dans sa procédure « Maitrise des infections à SARS-CoV-2 pour la pratique dentaire », le Risk Management Group (RMG, 2020) conclut que « 2,5 renouvellements d'air sont exigés pour obtenir une réduction de 90 % des contaminants d'air. ». Dans un bureau dont l'occupation est de 15 m²/personne et la hauteur sous plafond est de 2,5 m, cela correspond à un débit de 94 m³/h par personne.

Cela implique que, dans la plupart des cas, une occupation normale²⁷ de la pièce sera impossible afin d'assurer un débit de ventilation le plus élevé possible par personne présente dans la pièce, du fait non seulement des limites du système de ventilation en place mais aussi de la nécessité d'assurer le confort thermique des occupants de la pièce (par exemple sans ouvrir les fenêtres en plein hiver)²⁸.

Le taux de renouvellement d'air par heure en ventilation naturelle dépend de nombreux facteurs comme la taille de la pièce, le vent, l'orientation, etc. Ainsi, l'ouverture des fenêtres peut apporter dans certains cas un taux de renouvellement de l'air significativement plus élevé que celui d'un système de ventilation de base, jusqu'à environ 10 ACH dans de bonnes conditions. C'est pourquoi on parle de ventilation intensive.

²⁸ Il est conseillé d'adapter les débits de ventilation selon l'utilisation des locaux, au risque de voir grimper les consommations énergétiques. Il est en effet inutile de ventiler en continu et à débit maximal de grand locaux (quasi) inoccupés.



²⁶ Remarque: Le niveau de ventilation d'un local peut être exprimé en débit (par exemple en m³/h) ou en taux de renouvellement d'air (exprimé en ACH). Un débit (en m³.h) peut être converti en un taux de renouvellement (en ACH) en le divisant par le volume de l'espace (en m³).

²⁷ Telle que prévue dans la réglementation PEB, soit par exemple, pour les bureaux, 15 m² par personne.

Avec des fenêtres et des portes ouvertes dans un bâtiment de soins de santé moderne, une moyenne de 17 renouvellements d'air/h est générée (Escombe et al., 2007), ce qui est plus que le minimum de 12 renouvellements d'air/h qui est recommandé par l'OMS lors des procédures de génération d'aérosols (WHO b, 2020). De même, pour les locaux de classe (60 - 75 m³; 20 - 30 élèves), l'IRK allemand (*Innenraumlufthygiene Kommission* – Commission hygiène de l'air intérieur) souligne la nécessité d'ouvrir grand les fenêtres pendant chaque pause (pendant plus de 5 minutes) afin d'augmenter temporairement le niveau de renouvellement d'air dans les locaux²⁹. Pour les cours de plus longue durée (plus de 45 minutes), il recommande de maintenir les fenêtres ouvertes en permanence. Des recommandations similaires ont été émises par le ministère de l'enseignement flamand.³⁰

En effet, une ouverture ponctuelle n'est efficace que pour évacuer rapidement des polluants, mais pas pour assurer un renouvellement en continu. L'ouverture ponctuelle des fenêtres se fera donc en complément d'autres mesures de ventilation continue. Par ailleurs, rappelons que cette mesure n'est pas contrôlable, sauf si des configurations spécifiques sont utilisées (cf. point 3.2.2 – Dynamique des masses d'air). Or, les aérosols peuvent être transportés sur de longues distances par les courants d'air, ce qui augmente le risque d'infection pour ceux qui se trouvent dans le sens du flux.

Un système de ventilation, s'il est efficace, peut garantir un retour de la qualité de l'air à des normes adéquates après qu'une source d'infection ait été active pendant un certain temps. Cependant, un système de ventilation a très peu d'effet lorsque la distance entre plusieurs personnes qui parlent, crient, chantent, rient, toussent et éternuent dans un local est telle que les particules émises par une personne en atteignent une autre avant d'être transportées (par exemple dans la couche supérieure de l'air contaminé). Cela souligne l'importance des dispositifs servant à couvrir le visage, et la distanciation physique de 1,5 m minimum, même en présence de systèmes de ventilation bien conçus (Bhagat et al., 2020).

L'ordre de grandeur du taux de renouvellement d'air pour un système conforme à la réglementation PEB est généralement de 1 ACH. Cette valeur est toutefois clairement insuffisante en termes de prévention de l'infection au SARS-CoV-2 et il convient de viser des débits de ventilation nettement supérieurs à la normale par personne qui occupe la pièce. Cela implique qu'une occupation normale de la pièce sera généralement impossible. Néanmoins, un système de ventilation a très peu d'effet lorsque la distance entre les personnes est telle que les particules émises atteignent les autres avant d'être transportées. Cela souligne l'importance des dispositifs servant à couvrir le visage, et la distanciation de 1,5 m minimum, de préférence 2 m, même en présence de systèmes de ventilation bien conçus.

3.2.6 Contrôle de qualité de l'air : indicateurs de taux de CO₂

Une très bonne indication de la qualité de l'air intérieur d'un local, et donc de la qualité de la ventilation, peut être obtenue en mesurant son taux de CO₂. En effet, l'air expiré par les personnes présentes dans un local fait rapidement grimper la concentration de CO₂. Il existe donc une relation directe entre la concentration de CO₂, le nombre de personnes dans le local et le débit de ventilation³¹ – pour autant qu'il n'y ait pas d'autres sources de production de CO₂ dans le local que l'occupation humaine (ex appareils de chauffage mobiles sans évacuation extérieure, processus chimiques ou industriels, etc.). Cette relation dépend de la production

³¹ Un outil permettant de simuler l'évolution des concentrations en CO₂ en fonction de la ventilation, de la taille du local et du nombre de personnes présentes est proposé sur le site de la *Belgian Society for Occupational Hygiene*: <u>Webapps | Belgian Society for Occupational Hygiene (BSOH)</u>.



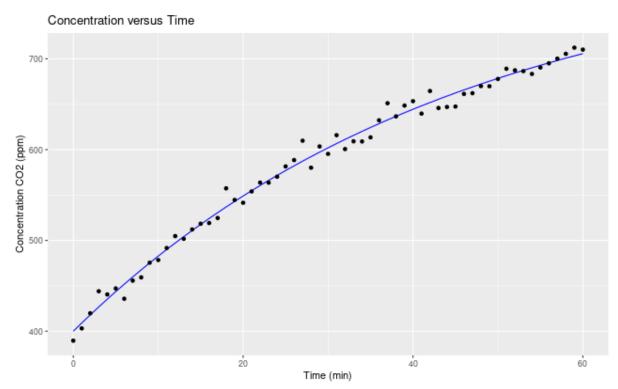
²⁹ Une ouverture ponctuelle n'est efficace que pour évacuer rapidement des polluants, mais pas pour assurer un renouvellement en continu. L'ouverture ponctuelle des fenêtre ne se fera donc qu'en complément d'autres mesures.

³⁰ Pour l'enseignement flamand, voir <u>https://onderwijs.vlaanderen.be/nl/coronamaatregelen-verlucht-en-ventileer-voldoende</u>.

de CO_2 moyenne des personnes. Ce taux augmente en fonction de leur activité physique³²: pour un travail de bureau, celui-ci est de l'ordre de 20 l/h par personne³³. Ainsi, par exemple, une concentration en CO_2 de 900 ppm correspond à un débit d'air neuf de 40 m³/h par personne³⁴.

Comme pour le débit de ventilation, il n'existe pas de consensus international sur le niveau maximal de concentration en CO_2 correspondant à une qualité de l'air suffisante. La réglementation sur les lieux de travail prévoit une valeur maximale de 900 ppm (ou 1 200 ppm dans le cas de revêtements de sol peu émissifs). Le REHVA, quant à lui, recommande un taux < 800 ppm dans le cadre de la COVID-19, ce qui correspond à un débit de minimum 50 m³/h par personne. A titre de comparaison, la concentration de CO_2 dans l'air extérieur (neuf) est d'environ 400 ppm³5.

En se basant sur une occupation de 1 personne/15 m² et une hauteur sous plafond de 2,5 m (1 personne dans une pièce de 37,5 m³), et un débit de 50 m³/h, l'évolution du taux de CO₂ resterait nettement en deçà de 800 ppm pendant la première heure d'occupation³6, comme le démontre la simulation suivante :



(BSOH CO2 simulator | Belgian Society for Occupational Hygiene (BSOH))

(Valeurs utilisées: 1 adulte (taille 1,75 m, poids 75 kg, quotient respiratoire 0,83, MET 1,2,), production CO2 21 l/heure, dans un local de 37,5 m^3 , débit de ventilation 50 m^3 /h, taux de CO₂ extérieur 400 ppm)

Bien que le REHVA recommande cette valeur de 800 ppm dans le cadre de la COVID-19, le CSS estime qu'elle ne suffit pas dans beaucoup de situations dans le contexte du COVID-19

.be

- 31 -

³² La concentration de CO2 dans l'air expiré par un individu s'élève à environ 40 000 à 53 000 ppm de CO2.

³³ Pour d'autres valeurs indicatives voir directive sur : https://emploi.belgique.be/fr/actualites/directive-pratique-qualite-de-lair-interieur-dans-les-locaux-de-travail.

³⁴ REHVA: « 2 l/s par m2 de ventilation [...] est capable de maintenir la concentration de CO₂ en dessous de 800 ppm s'il y a au moins 7 m² de surface au sol par occupant. Dans le cas d'un taux de ventilation plus faible de 1 l/s par m2, il faut au moins 10 m² par personne pour maintenir la concentration de CO₂ en dessous de 1000 ppm. »

³⁵ https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide

³⁶ Il est à noter que si on augmente le temps, la concentration d'équilibre va tendre vers la valeur calculée plus haut : 50 m³/h = 900 ppm.

(Sun & Zhai, 2020) et qu'il convient de chercher à atteindre des valeurs le plus près possible du taux de CO₂ extérieur.

Cette relation entre débit et concentration en CO₂ justifie le recours aux moniteurs de CO₂³⁷ pour vérifier si le local est suffisamment ventilé (Scheff et al., 2000). S'il n'est pas possible de ventiler davantage la pièce, et donc de diminuer davantage le taux de CO₂, cela signifie qu'elle n'est pas adaptée au nombre de personnes présentes et/ou aux activités qui y sont réalisées.

Les moniteurs de CO₂ peuvent également être utilisés comme indicateur pour évaluer la probabilité d'être infecté par des agents pathogènes aérogènes en utilisant des approches telles que l'équation de Wells-Riley (cf. le point 3.2.1 - Modèles). En effet, le recours aux moniteurs de CO₂ a déjà porté ses fruits dans la lutte contre des agents pathogènes aérogènes dans le passé, notamment dans la lutte contre la tuberculose (Du et al., 2019; Richardson, 2014).

Cette approche repose sur le fait que l'air expiré ne contient bien entendu pas uniquement du dioxyde de carbone, mais également des aérosols potentiellement infectieux. La ventilation, en apportant de l'air extérieur, dilue la concentration en particules infectieuses, et diminue de ce fait l'exposition à celles-ci. Dans le cadre de la lutte contre la COVID-19 également, mesurer le taux de CO₂ peut donc s'avérer utile.

Suite à des événements de super-propagation, tels que le cas de la chorale à Washington, les chercheurs sont de plus en plus nombreux à conseiller l'usage de moniteurs de CO_2 munis d'un code de couleur, comme les « feux de signalisation », qui permettent d'avertir les personnes présentes que la ventilation est insuffisante. Ces moniteurs pourraient être utilisés pour mesurer en continu la concentration en CO_2 dans les écoles, les lieux de réunion, les bureaux.

Par exemple, le REHVA recommande de régler les voyants de ce moniteur de telle sorte qu'un avertissement (voyant orange) s'affiche dès que le taux de CO₂ dépasse 800 ppm et le signal d'alarme (voyant rouge) s'allume dès que celui-ci franchit le seuil de 1 000 ppm.

Le moniteur sera idéalement positionné au centre du local, à une hauteur de 1,5 m, hauteur à laquelle les personnes travaillent, suivent des cours, etc., sans le placer trop près de celles-ci (minimum 2 m). Plusieurs moniteurs devront être déployés dans les grands locaux ou bureaux paysagers, et ne seront pas placés à proximité d'une porte ou d'une fenêtre (Metiz, 2020), ni dans un coin.³⁸ Par ailleurs, des moniteurs portables à usage personnel pourraient permettre aux particuliers de quitter à temps un local insuffisamment ventilé.

Plusieurs **mises en garde** s'imposent, toutefois, tout d'abord en ce qui concerne les locaux de faible occupation par rapport à leur surface/volume, et où un faible taux de CO₂ ne peut pas être interprété comme une garantie de sécurité par rapport au risque de transmission du virus. En effet, ce risque peut augmenter fortement si les personnes se rencontrent souvent ou sont situées proches les unes des autres ou dans des directions défavorables par rapport aux déplacements d'air.

A cela s'ajoutent les risques d'erreurs de mesure et la fiabilité des dispositifs utilisés. En effet, certains moniteurs bon marché peuvent afficher une très grande imprécision (jusqu'à 200 ppm). Par ailleurs, les sondes peuvent être soumises à des dérives, ce qui signifie qu'un étalonnage régulier est indispensable. Les taux affichés peuvent être inférieurs à la réalité, ce qui procurerait un faux sentiment de sécurité (Metiz, 2020). Certains capteurs de CO₂ ont

.be

 $^{^{37}}$ Dispositifs qui permettent de mesurer le taux de CO_2 dans l'air ambiant.

³⁸ Voir par exemple la directive pratique en lien avec la réglementation lieux de travail : https://emploi.belgique.be/fr/actualites/directive-pratique-qualite-de-lair-interieur-dans-les-locaux-de-travail.

néanmoins un dispositif permettant de limiter cette dérive. Il s'agit des capteurs équipés d'une correction de la ligne de base (automatic baseline calibration, ABC) ou d'un second capteur de référence (dual beam).

Mais bien plus important encore, des taux élevés de CO₂ révèlent que la ventilation est insuffisante, et indiquent donc indirectement la présence d'un risque accru de contamination par aérosols à l'intérieur des bâtiments. A contrario, un taux de CO₂ faible (< 800 ppm) ne signifie pas que ce risque est nul. Cette valeur peut être trop haute dans certaines situations. A cela s'ajoute le fait que, comme mentionné ci-dessus (voir le point 3.2.3 – Qualité de l'air), la dose infectante du SARS-CoV-2 n'est pas connue actuellement. Or, le taux de CO₂ n'est pas le seul facteur à prendre en compte : la notion de temps d'exposition et, donc, de dose doit également figurer parmi les facteurs de risque (Bhagat et al., 2020).

Par conséquent, le CSS conseille de prévoir un débit d'air neuf d'au moins 50 m³/ heure par personne, et de préférence 80 m ³/ heure et par personne. Il recommande dès lors de viser un taux de CO₂ inférieur à 800 ppm (pour une concentration dans l'air extérieur de 400 ppm, à corriger éventuellement en fonction de la concentration réelle dans l'air extérieur, qui peut dépasser 500 ppm à certains endroits), tout en soulignant que, même si le taux de CO2 peut être une indication de la qualité de la ventilation, réduire le taux de CO₂ en augmentant le taux de renouvellement de l'air ne permet pas d'éliminer purement et simplement le risque de contamination, car d'autres facteurs entrent également en compte (durée et densité d'occupation du local, taille du local). En d'autres termes, il est impossible de déterminer un taux de CO₂ pour lequel le risque est nul.

Le CSS recommande de prévoir dans les espaces clos un débit d'air neuf d'au moins 50 m³/ heure par personne, et de préférence 80 m³/ heure et de viser un taux de CO₂ inférieur à 800 ppm, de préférence même plus bas que cette valeur. En effet, une mesure de concentration en CO₂ plus élevée que les valeurs recommandées ou exigées est un bon indicateur d'une ventilation insuffisante et/ou d'un taux d'occupation du local trop élevé. Dans ce cas, des mesures correctives s'imposent.

Cependant, une concentration en CO₂ plus faible indique que le taux de ventilation est raisonnable en fonction du nombre de personnes présentes, mais, tout comme une ventilation suffisante, ne donne aucune garantie sur un risque d'infection faible ou nul.

3.3 Recommandations spécifiques pour la ventilation, le chauffage et la climatisation

Comme maintes fois mentionné, la mesure principale, outre les règles de base énoncées cidessus, est de veiller à une ventilation adéquate.

Dans son quide sur le fonctionnement et l'utilisation des équipements techniques des bâtiments afin de prévenir la propagation du virus du COVID-19 sur les lieux de travail (version 4, 17/11/2020), le REHVA formule 15 recommandations, qui portent principalement sur l'augmentation du débit d'air neuf et, dans la mesure du possible, l'arrêt de la recirculation de l'air en amenant 100 % d'air neuf.³⁹ En effet, des particules virales circulant dans les conduits d'air extrait pourraient être réintroduites dans le circuit d'amenée d'air lorsqu'il y a un dispositif de recirculation. Les systèmes de ventilation avec recirculation ont été signalés comme un moyen de transmission/propagation de maladies infectieuses telles que la rougeole, la tuberculose, la varicelle, la grippe, la variole et le SARS (Correia et al., 2020).



³⁹ Il est conseillé d'adapter les débits de ventilation selon l'utilisation des locaux, au risque de voir grimper les consommations énergétiques. Il est en effet inutile de ventiler en continu et à débit maximal de grand locaux (quasi) inoccupés.

Outre atlantique, l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) a également émis une série de recommandations, fondées elles-aussi sur le constat qu'une bonne ventilation permet de réduire la concentration en aérosols infectieux et donc de diminuer le risque d'infection. Il convient toutefois de noter que les approches des deux organismes se distinguent au niveau de la recirculation de l'air. Ces différences peuvent partiellement s'expliquer par les différences entre les systèmes de HVAC utilisés en Europe et aux USA. En Europe, les systèmes utilisés reposent sur l'acheminement d'air neuf pour la ventilation et la climatisation, qui sont généralement séparés du chauffage hydronique. Aux États-Unis, les systèmes de climatisation et de chauffage couramment utilisés reposent sur la recirculation de l'air avec un minimum d'air neuf (Leprince, 2020).

Très sécuritaires, les recommandations du REHVA, en privilégiant de couper totalement la recirculation lorsque c'est possible, ont des conséquences néfastes sur la consommation énergétique des installations HVAC et parfois sur le confort des occupants si on a recours à la ventilation naturelle ou si on n'arrive pas à chauffer suffisamment l'air neuf en raison de systèmes de récupération/recyclage mis à l'arrêt. En revanche, les recommandations de l'ASHRAE sont moins sévères et tablent sur la dilution des concentrations. L'air est recyclé à l'aide de filtres MERV13/ePM1 50 % à un débit maximal associé à une désinfection de l'air à l'aide d'UVGI. L'ASHRAE met en garde contre le risque d'induire un stress thermique chez les occupants des locaux ainsi qu'une diminution de la résistance aux infections, sachant que des températures trop faibles combinées à des courants d'air peuvent être également un facteur de développement d'infections respiratoires. D'une manière générale, l'ASHRAE estime que la dilution, la filtration et la désinfection agissent ensemble et que, dans de nombreux cas, la filtration peut être plus efficace qu'une ventilation accrue. Attention toutefois que cette efficacité est largement tributaire de la classe du filtre, de l'étanchéité à l'air entre le filtre et le caisson (qui ne s'avère pas toujours idéale dans la pratique), ainsi que du positionnement du filtre (centralisé ou décentralisé).

De même, le REHVA recommande de forcer les installations à débit variable à leur débit maximal en continu, ce qui, selon l'ASHRAE ne semble pas justifié lorsque les taux d'occupation effectifs sont très bas, comme c'est le cas dans les périodes de forte circulation du virus et où le télétravail est obligatoire. Une recommandation de renouvellement d'air minimal des espaces intérieurs et de débit minimal par personne présente semble plus judicieuse (sur base, par exemple, des débits recommandés par les normes, dont la EN 16798-1 qui établit des catégories de qualité d'ambiance intérieure).

Dans le cas du COVID-19, le CSS recommande de suivre, dans la mesure du possible, les recommandations plus prudentes du REHVA, en modulant néanmoins le débit en fonction du taux d'occupation et de la mesure du CO₂ ambiant

Sur cette base, les recommandations suivantes peuvent être formulées en fonction des systèmes utilisés :

A) Ventilation

Pour les **locaux équipés d'une ventilation de base** (conforme à la réglementation PEB ou la réglementation sur les lieux de travail en vigueur) :

- Les systèmes de ventilation mécanique seront utilisés avec un apport d'air neuf, de 50 m³ par personne et de préférence de 80 m³/h par pers d'air neuf.
- L'air circulera des zones propres vers les zones sales, en non dans le sens inverse.
- La ventilation démarrera à la vitesse nominale au moins deux heures avant l'occupation des locaux, et se terminera ou passera à une vitesse inférieure 2 heures après celle-ci.
- Pour les systèmes dotés d'un contrôle de l'humidité : l'humidification ne permettant pas de réduire la viabilité du virus SARS-CoV-2 de façon suffisante, il n'y a aucun



- intérêt à augmenter la l'humidité relative (HR) au-dessus des consignes habituelles (40 65 % HR).
- Ouvrir les fenêtres permet d'augmenter encore le renouvellement d'air.
- Si une ventilation suffisante ne peut pas être garantie, il convient de limiter le nombre de personnes et la durée de l'occupation de la pièce. Dans tous les cas, il est important de souligner que la ventilation ne résout pas les problèmes de transmission à courte distance et que les mesures telles que le port du masque et le respect de la distanciation physique conservent toute leur importance.
- L'augmentation mécanique de la ventilation n'est pas toujours possible. Augmenter la ventilation peut se faire en augmentant la vitesse (adaptation des conduits, ventilateurs, grilles terminales, organes de réglages, etc.), mais dépendra aussi du dimensionnement de base et de la marge encore éventuellement disponible (pertes de charge notamment)..

Dans le cas de systèmes de ventilation équipés de récupérateurs de chaleur :

- Dans le cas d'un système doté d'échangeurs à plaques ou à batteries, les flux d'air sont totalement séparés. Il n'y a donc pas de risque de contamination de l'air pulsé par l'air récupéré.
- Dans le cas de systèmes air-air rotatifs: pour éviter le risque de fuites de l'air extrait vers l'air d'alimentation, il convient de vérifier la conception et l'entretien du système: l'état des joints (l'arrêt du rotor n'exclut pas les fuites), la section de purge, les pressions de part et d'autre du récupérateur. En cas de fuites, ajuster la pression et utiliser le by-pass (si présent).

En **l'absence d'une ventilation de base conforme** (ou si celle-ci est insuffisante) : l'ouverture des fenêtres est l'unique moyen d'augmenter le taux de renouvellement de l'air : les recommandations sont :

- D'ouvrir les fenêtres, si possible en continu, et davantage qu'en temps normal, à des endroits éloignés les uns des autres et situés à des façades différentes, mais éviter les courants d'air incontrôlés entre les locaux en fermant les portes intérieures;
- De surveiller le taux de CO₂ (cf. le point 3.2.3);
- Si une ventilation suffisante ne peut pas être garantie, de limiter le nombre de personnes et la durée de l'occupation de la pièce. Dans tous les cas, il est important de souligner que la ventilation ne résout pas les problèmes de transmission à courte distance et que les mesures telles que le port du masque et le respect de la distanciation physique conservent toute leur importance.

B) Purificateurs d'air

Dans le cas particulier où le renouvellement de l'air (par le système de ventilation et/ou par l'ouverture des fenêtres) n'est pas suffisant et que le taux d'occupation du local ne peut pas être réduit, on peut éventuellement recourir à des systèmes de purification d'air mobiles, à condition que ceux-ci soient équipés de filtres HEPA ou à précipitation électrostatique et aient une capacité de débit de 2 - 5 ACH (voir point 4.1 – Filtration).

- C) Recirculation d'air pour le chauffage et/ou la climatisation
 - Éviter la recirculation centrale en fermant les registres de recirculation d'air afin de n'avoir que de l'air neuf extérieur.
 - La recirculation est utilisée principalement pour des raisons de gains énergétiques. Il n'est pas toujours possible de fonctionner avec 100 % d'air neuf : en effet, certains groupes actuels ne sont pas dimensionnés pour pouvoir fonctionner avec 100 % d'air neuf les dimensions des gaines de prises d'air étant réduites, ce qui implique un taux d'air neuf inférieur à 100 %.
 - Lorsqu'il n'est pas possible d'éviter la recirculation centrale : augmenter autant que possible la fraction d'air extérieur et implémenter des mesures supplémentaires



pour filtrer l'air recirculé. Dans ce cas, une filtration HEPA de minimum H13 sur la recirculation doit être envisagée (voir point 4.1.1 – Filtration centrale sur le système de recirculation.

D) Unités terminales pour le chauffage ou la climatisation

Dans certains cas, le chauffage et la climatisation sont réalisés par des unités terminales présentes dans les locaux plutôt que par l'air du système de ventilation centralisé.

Pour les unités terminales dans les locaux (ventilo-convecteurs, climatiseurs, etc.) :

Un climatiseur individuel ou ventilo-convecteurs est un appareil de traitement d'air destiné au refroidissement ou au chauffage de l'air qui le traverse, composé d'un échangeur de chaleur (serpentin, batterie, etc.) et d'un ventilateur.

L'énergie thermique est apportée au ventilo-convecteur par un fluide (eau ou fluide frigorigène) ou par un dispositif électrique. L'air porté à la température voulue est soufflé soit directement dans le local à climatiser soit par l'intermédiaire d'un conduit ou d'un réseau de distribution d'air.

Il convient d'être prudent avec ces appareils, surtout s'ils sont utilisés dans des locaux partagés. Les recommandations sont :

- D'assurer en priorité un apport d'air neuf suffisant grâce à une ventilation naturelle ou mécanique;
- De faire attention à la vitesse d'air produite en zone occupée, qui pourrait favoriser la propagation du virus bien plus loin que les 1,5 m de distance recommandée entre personnes; de privilégier les systèmes ne provoquant pas de grands courants d'air dans les locaux; dans le cas contraire, ajuster les réglages des flux d'air, limiter la vitesse à 0,3 m/s et aménager les lieux de travail en conséquence que les flux d'air ne soient pas dirigées vers les personnes;
- De faire fonctionner les dispositifs au moins en vitesse minimale 1 h avant et 1 h après l'occupation des locaux ;
- D'éteindre ou sinon de faire fonctionner les ventilo-convecteurs de sorte que les ventilateurs soient maintenus en action de façon continue : il faudra faire attention aux zones d'accumulation et prévoir un plan d'entretien adapté à cette situation.

E) Entretien des installations :

Selon l'ECDC (2020), il n'y a pas encore de preuve d'une infection humaine par le SARS-CoV-2 causée par l'air distribué par les conduits des systèmes de CVC, le risque est donc jugé très faible à condition qu'il ne s'agit pas de recirculation d'air contaminé. En effet, il est important de rappeler que les conduits amènent l'air neuf extérieur qui n'est pas contaminé dans les locaux. De plus, même si les conduits sont sales et chargés en poussières, comme tous les environnements en dehors d'un hôte, le virus n'a pas de risques de s'y multiplier. Elles peuvent par ailleurs être munies de filtres assez grossiers dont le but n'est pas de filtrer un air contaminé mais simplement de protéger le système des poussières et grosses particules.

Dans ses recommandations sur le fonctionnement et l'utilisation des installations sanitaires et de conditionnement des bâtiments dans le cadre de la lutte contre le SARS-Cov-2, le REHVA (2020) considère que le nettoyage des conduits n'est pas efficace contre l'infection de pièce à pièce car le système de ventilation n'est pas une source de contamination si les conseils concernant la récupération et la recirculation de la chaleur sont suivis.⁴⁰

Les filtres installés sur l'alimentation en air extérieur et l'évacuation de l'air intérieur (sans recirculation) n'influencent pas la charge virale dans l'air intérieur - l'air extérieur n'est pas une

4



⁴⁰ « Les virus attachés à de petites particules ne se déposeront pas facilement dans les conduits de ventilation et seront normalement transportés par le flux d'air. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de modifier les procédures normales de nettoyage et d'entretien des conduits. Il est beaucoup plus important d'augmenter l'apport d'air extérieur et d'éviter la recirculation de l'air. »

source significative de SARS-CoV-2. Pour cette raison, des entretiens supplémentaires à ceux prévus ne sont pas nécessaires dans la lutte contre le COVID-19. La recommandation est :

- De maintenir les procédures habituelles d'entretien et de nettoyage des conduits le nettoyage des conduits n'est pas efficace contre le virus mais permet d'éviter l'accumulation de poussières dans le conduit qui lui peut réduire les débits de ventilation.
- De veiller à la sécurité du personnel de maintenance (par ex. lors de la manipulation des filtres à air d'extraction), en leur faisant porter des vêtements de protection personnelle.

Remarque : Il ne faut pas confondre les filtres des cassettes de climatisation – destinés à purifier l'air, et les grilles de ventilation dont les filtres grossiers ont pour objectif de protéger les ventilateurs et composants. Ces filtres accumulent beaucoup de saleté et exigent un entretien régulier à définir selon le taux d'encrassage.

3.4 Cas particulier des sanitaires

Les installations sanitaires doivent également être considérées comme un facteur possible de propagation du virus (Correia et al., 2020). D'une part parce que dans un système de ventilation bien conçu, l'air est acheminé des locaux « secs » vers les pièces « humides », y compris les toilettes. Il y a donc un flux constant potentiellement « contaminé » qui passe par les sanitaires. D'autre part, parce que les sanitaires constituent eux-mêmes un lieu de production continue d'aérosols. Or, même s'il n'y a jusqu'à présent aucune transmission fécorale documentée, il a été par contre démontré que le virus est excrété via les fèces (Tian, Y. et al., 2020 ; Chen Y. et al., 2020 ; Wang W. et al., 2020 ; Hindson J., 2020).

Lors du tirage de la chasse d'eau, les turbulences engendrées par le remplacement du contenu de la cuvette, les remous causés par le robinet et le souffle du sèche-mains (humides) génèrent des aérosols susceptibles de contaminer l'air ambiant, les surfaces environnantes comme le lavabo, ou atteindre directement les muqueuses de la bouche, du nez et des yeux par inhalation ou contact.

Les actions pratiques recommandées sont :

- Le couvercle de la cuvette doit être rabattu avant le déclenchement de la chasse ;
- Vérifier l'étanchéité des siphons et veiller à maintenir tous les siphons et avaloirs de sol remplis d'eau ;
- Les serviettes en papier jetables sont à privilégier aux sèche-mains à air chaud pulsé (cf. point 5.3). Même si le système est équipé d'un filtre HEPA sur l'alimentation en air, celui-ci n'a aucun effet sur la propagation potentielle de particules virales lors du séchage des main;
- Les poubelles doivent être dès lors munies d'un couvercle actionnable des pieds.

A cela s'ajoute que les locaux sanitaires sont généralement assez exigus et confinés : l'air y circule mal.

Par conséquent, les systèmes de ventilation des installations sanitaires jouent un rôle potentiel dans la prévention de la propagation du SARS-CoV-2 (Correia et al., 2020).

Il est dès lors recommandé de :

 Faire fonctionner les extractions sanitaires de la même manière que la ventilation mécanique générale : la ventilation démarrera donc à la vitesse nominale au moins deux heures avant l'occupation des locaux, et se terminera ou passera à une vitesse inférieure 2 heures après celle-ci;



• Lorsque les locaux sanitaires sont équipés d'une ventilation mécanique, éviter d'ouvrir les fenêtres des sanitaires afin de maintenir une pression négative et éviter des flux d'air secondaires vers les espaces adjacents.

Pour les sanitaires :

- Faire fonctionner les extractions sanitaires de la même manière que la ventilation mécanique générale: la ventilation démarrera donc à la vitesse nominale au moins deux heures avant l'occupation des locaux, et se terminera ou passera à une vitesse inférieure 2 heures après celle-ci;
- Toujours rabattre le couvercle de la cuvette avant le déclenchement de la chasse ;
- Vérifier l'étanchéité des siphons et veiller à maintenir tous les siphons et avaloirs de sol remplis d'eau ;
- Privilégier les serviettes en papier jetables aux sèche-mains à air chaud pulsé.

4 Filtres et autres dispositifs complémentaires de désinfection / purification de l'air

En cas de ventilation suffisante dans un local avec un apport de 100 % d'air extérieur, il n'y a pas besoin d'envisager des dispositifs complémentaires de purification de l'air.

Cette option ne doit être envisagée que dans le cas où il est impossible d'éviter la recirculation de l'air dans le système de ventilation ou si une purification locale est nécessaire. Elle permet au mieux de compenser partiellement une ventilation insuffisante, mais ne peut certainement pas se substituer entièrement à une ventilation.

Afin de diminuer le risque de contamination au COVID-19 dans des espaces intérieurs, il y a une hiérarchie des mesures à respecter :

- 1) <u>La mesure la plus importante et à faire avant toute autre action est de ventiler</u> le plus possible, en coupant complètement la recirculation et en amenant 100 % d'air extérieur. Une ventilation efficace avec 100 % d'air extérieur diminue fortement le risque de transmission du SARS-CoV-2 par aérosols et est considérée comme suffisante.
- 2) <u>S'il est impossible de couper complètement la recirculation</u>, il est recommandé d'augmenter le débit d'air neuf.
- 3) Si augmenter le débit d'air neuf ne suffit pas, étant donné que la recirculation d'air augmente le risque de transmission en faisant recirculer dans les locaux un air potentiellement contaminé, une solution est d'installer une filtration centralisée suffisamment efficace dans le système de recirculation d'air (les filtres HEPA et les précipitateurs électrostatiques sont les plus efficaces).
- 4) S'il est impossible d'installer une filtration centralisée dans le système de recirculation (ex : perte de charge trop importante avec des filtres type HEPA) <u>ou que la ventilation n'est vraiment pas suffisante dans certains locaux</u>, il faut prendre d'autres mesures à choisir selon chaque situation particulière :
 - Dans certains cas particuliers pour lesquels le risque est plus élevé (ex : cabinets de dentistes avec production d'aérosols), ou de grands ateliers réfrigérés (recirculation obligatoire pour le refroidissement), et lorsque la ventilation est insuffisante dans certains locaux, on peut installer une purification locale par filtration (appareils en « stand-alone ») dans les locaux. Cette solution doit être envisagée au cas par cas, en évaluant sa pertinence. Il serait par exemple irréaliste d'installer une filtration locale dans chaque classe d'une école ou chaque bureau d'un grand bâtiment. Pour obtenir un taux de renouvellement d'air équivalent à la filtration centralisée, le dimensionnement, le nombre d'appareils à placer, et la disposition de la pièce sont très importants. En effet, les perturbations des flux d'air (évacuation et



- aspiration) causées par des objets situés à proximité (mur, lampes, meubles, etc.) peuvent faire en sorte que l'air ne soit recyclé et purifié que localement. Il est préférable d'avoir plusieurs petites unités réparties dans la pièce plutôt qu'une seule grande unité (Kähler, 2020).
- À côté de la purification locale par filtration existent aussi d'autres systèmes de désinfection locaux (ex : UV-C), auxquels on pourrait avoir recours. Cette solution demande encore toutefois des recherches pour s'assurer de leur efficacité réelle sur le terrain face au SARS-CoV-2. Cette technologie exige également une analyse encore plus difficile que la filtration pour le dimensionnement et le positionnement, ainsi qu'un entretien, un suivi, et un contrôle régulier par du personnel spécialisé, sans compter le budget non négligeable d'achat mais aussi de remplacement périodique des lampes. Une analyse de risque et coût-efficacité s'impose donc. Il est impératif dans cette analyse de choisir des méthodes de désinfection qui ne pourraient pas exposer les personnes à des substances toxiques ou à des rayons d'ultraviolet.

Les dispositifs de purification de l'air ont une utilité qui est limitée à une réduction du risque lié à une contamination aéroportée après un fonctionnement de l'ordre de l'heure ou de guelgues heures. Ils sont inopérants pour les échelles de temps plus courtes. Comme la ventilation avec de l'air neuf, les dispositifs complémentaires de purification ne protègent pas contre des expositions très rapprochées

Dans tous les les filtres et autres dispositifs complémentaires cas. désinfection/purification de l'air (quels que soient les moyens utilisés (ventilation, filtration, désinfection supplémentaire)) diminueront le risque de contamination mais ne l'annuleront pas complétement.

4.1 Filtration

Il faut distinguer plusieurs catégories de filtres :

- a) Les <u>filtres grossiers</u> : ils n'arrêtent que les particules de taille supérieure à 10 µm (pollen, sables, cheveux fins, poils, etc.) avec une certaine efficacité et sont appelés filtres « coarse » selon la norme NBN EN ISO 16890 : ISO coarse 50 -95 % (= % d'arrêt gravimétrique des poussières synthétiques, efficacité pour des particules de 0,3 – 10 µm < 50 %) ou éventuellement ePM10⁴¹ 50 - 60 % (efficacité pour des particules de $0.3 - 10 \mu m$).
- b) Il v a ensuite des filtres plus fins destinés à améliorer la qualité de l'air en éliminant toute une série de particules comme les poussières ou les bactéries.
 - Les plus courants sont des filtres <u>ePM2,5 : 65 95 %</u> ou <u>ePM1 : 50 95 %</u> selon la norme NBN EN ISO 16890 (F7 selon la norme périmée EN 779:2012 ou éventuellement F9). Les filtres F7 par exemple sont peu efficaces dans le cadre de la problématique de la COVID-19 car ils ne vont donc retenir qu'une partie limitée des particules potentiellement chargées de virus de taille inférieure à 1 µm (ordre de grandeur des particules chargées en virus (250 nm-1 µm) (Liu et al., 2020) (Van Herreweghe et al., 2020).
 - o Les filtres EPA (classe E10, E11 et E1242 selon NBN EN 1822), entre les ePM1 et les HEPA, car ils offrent déjà une certaine efficacité à retenir des



⁴¹ Les particules sont réparties en différentes classes PM (*Particulate Matter*) selon le diamètre aérodynamique de la particule : PM1 ≤ 1 µm, PM 2,5 ≤ 2,5 µm, chaque fois avec une limite inférieure de 0,3 µm, etc. Un filtre ePM1 50 % par exemple retient 50 % des particules entre 0,3 - 1 μ m. ⁴² Efficacité des filtres EPA : E10 : 85 % ; E11 : 95 % ; E12 : 99,5 %.

- particules de la taille du virus sans cependant augmenter de manière trop importante la perte de pression, c'est-à-dire que ces filtres auront un impact réduit sur le débit et le ventilateur.
- Les <u>filtres HEPA</u> sont encore plus efficaces. Par exemple, les HEPA H13 ont une efficacité de rétention de 99,95 %, les H14 de 99,995 % pour le MPPS (*Most Penetrating Particule Size*⁴³ ou Dimension de la particule plus pénétrante) selon la norme NBN EN 1822 :2019.

Il est important de noter qu'un filtre à air doit être intégré dans un dispositif ou système à l'aide d'un support prévu à cet effet. L'étanchéité à l'air entre le filtre et son support est cruciale pour son fonctionnement optimal. En effet, les fuites d'air entre le filtre et son support signifient qu'une partie de l'air ne sera pas filtrée. Par conséquent, l'efficacité globale du filtrage du système est inférieure à celle du filtre lui-même. Dans certains secteurs, comme le secteur hospitalier, une attention particulière est accordée à l'étanchéité à l'air entre les filtres utilisés et leur support, mais c'est loin d'être le cas pour d'autres applications. Certains fabricants mentionnent l'efficacité du système dans son ensemble dans la fiche technique.

c) Enfin, il existe des <u>précipitateurs électrostatiques</u>: le système consiste à donner délibérément aux particules présentes dans le flux d'air une charge électrique, généralement chargée positivement, puis à les capturer sur un collecteur de charge neutre ou opposée. Ces systèmes existent sous forme connectable à la ventilation ou comme unités autonomes. Leur efficacité est au moins équivalente à celle du filtre HEPA, mais avec des chutes de pression générées beaucoup plus faibles grâce à la structure plus ouverte à l'intérieur. Le CSTC (projet Out2In; Van Herreweghe et al., 2020), a testé deux systèmes de précipitation électrostatique (l'un avec un collecteur nettoyable et l'autre avec un collecteur à remplacer) compatibles avec les systèmes de ventilation résidentiels. Ces deux systèmes ont montré une performance très élevée et constante⁴⁴ dans toute la plage de mesure (particules de 10 nm à 10 μm) et une production d'ozone limitée.

Il faut également distinguer différentes applications de ces filtres en pratique :

a) Il y a d'une part les <u>filtres présents dans les systèmes sur l'air neuf et sur l'air rejeté</u> qui ne sont pas du tout concernés par la problématique du COVID-19 puisque l'air extérieur n'est pas considéré comme chargé en virus et qu'on ne s'inquiète pas non plus d'air rejeté potentiellement chargé en virus. Aucun remplacement supplémentaire de ces filtres n'est donc nécessaire en vue de la prévention de la COVID-19.

Ces filtres sont présents de façon standard dans les systèmes de ventilation, souvent à l'entrée et à la sortie de l'échangeur de chaleur le cas échéant, et destinés à protéger le système lui-même (ventilateurs, moteurs, conduits, etc.) et veiller à ce que le système ne s'encrasse pas excessivement trop rapidement. Au minimum, des filtres grossiers sont utilisés pour ces applications. Dans certains cas néanmoins, des filtres fins sont aussi utilisés sur l'air neuf afin d'améliorer la qualité de l'air provenant de l'extérieur (par exemple vis-à-vis des particules fines, etc.).

⁴⁴ Pour le système avec collecteurs remplaçables (à condition que la fréquence de remplacement indiquée par le fabricant soit respectée).

.be

⁴³ MPPS: La MPPS est la dimension particulaire la plus difficile à arrêter. La fraction MPPS doit être déterminée sur un morceau de matériau filtrant plat à partir duquel est fabriqué le filtre à tester. Ensuite, la fraction granulométrique qui constitue le MPPS pour ce matériau filtrant doit être utilisée pour déterminer l'efficacité du filtre.

- b) Il y a ensuite <u>les filtres pour la recirculation de certains systèmes HVAC</u>. De manière standard, ces filtres sont généralement également des filtres grossiers visant à protéger le système contre l'encrassement. Mais il est bien sûr possible également d'utiliser des filtres fins (si les caractéristiques du système le permettent) ou des précipitateurs électrostatiques.
- c) Enfin, des filtres sont intégrés dans les purificateurs d'air autonomes qui traitent l'air d'un local par exemple. Le but de ces filtres est bien sûr de purifier l'air et d'améliorer sa qualité. Les filtres les plus souvent utilisés dans ce cas sont des filtres HEPA. Les précipitateurs électrostatiques sont ici également pertinents.

Les type de filtres plus fins pour les applications pour la recirculation ou les purificateurs d'air autonomes sont donc un moyen d'éliminer une partie des particules chargées en virus dans le cadre de l'épidémie du COVID-19, tout en étant tout à fait inoffensifs pour la santé. Si c'est possible, cette solution de purification de l'air est la plus recommandée en plus d'une bonne ventilation.

Bien que recommandés par l'ASHRAE, les filtres ePM1 sont assez peu efficaces. Les filtres EPA peuvent être un bon compromis dans certains cas, l'idéal étant toujours les filtres HEPA - mais avec la difficulté de les intégrer dans des installations existantes, ou les précipitateurs électrostatiques.

L'utilisation d'un filtre HEPA est probablement surtout utile dans les établissements médicaux, ainsi que dans des locaux confinés et sans aération, ou par exemple dans les environnements réfrigérés, où couper la recirculation implique une immense perte d'énergie et où il faut donc une solution efficace pour filtrer l'air potentiellement contaminé de cette recirculation. Il est superflu d'en équiper les systèmes de ventilation actuels des bâtiments de grand volume qui n'utilisent pas la recirculation à condition qu'une ventilation suffisamment riche en air neuf soit présente.

L'analyse du bien-fondé de recourir à une filtration doit se faire au cas par cas : nombre moyen de personnes dans les locaux, système de climatisation centralisé ou local (ex : ventiloconvecteurs), recirculation ou pas, pertinence, faisabilité, coût, etc.

4.1.1 Filtration centrale sur le système de recirculation

Lorsqu'il est impossible de couper complètement la recirculation, une filtration centralisée est la première mesure à prendre. Les filtres HEPA et les précipitateurs électrostatiques sont les plus efficaces.

Notons toutefois qu'il n'est pas toujours possible d'équiper des systèmes existants de <u>filtres HEPA</u>. En accumulant très rapidement les particules, ils sont susceptibles de provoquer une forte chute de pression qui aura pour conséquence une diminution du débit d'air fourni, ou que davantage d'air les contourne s'ils sont mal installés (Dixon, 2020). Ils nécessitent une étude spécifique et souvent une adaptation des installations. Ces filtres requièrent une pression d'air plus élevée, donc occasionnent des débits d'air utiles plus faibles et/ou des consommations électriques bien plus importantes.

Ils devraient être aussi plus fréquemment changés. Une solution pour préserver et éviter d'encrasser trop vite les filtres HEPA est de prévoir une cascade de filtres lors du dimensionnement des groupes (ISO Coarse + ISO Fine (ePM1 ou ePM2,5) + HEPA). Afin de mesurer la perte de charge et déterminer la période de remplacement des préfiltres, un déprimomètre devra être installé. La durée d'utilisation du filtre HEPA pourra ainsi être prolongée de façon importante.

Il n'est donc pas toujours évident d'ajouter des filtres HEPA dans les systèmes existants. Il faudra en général les modifier en ajoutant un caisson terminal pour le filtre HEPA et en



changeant le ventilateur et éventuellement son alimentation électrique - vu que la perte de charge de la section filtration sera au moins augmentée de 500 Pascals.

Une telle modification du système va donc à l'encontre des directives européennes d'écoconception qui tentent de limiter la perte de charge et donc la puissance des ventilateurs et ce type de modification devrait pouvoir être inactivé lorsque le danger de contamination virale n'est pas d'actualité.

Le REHVA (2020) suggère l'utilisation de <u>filtres moins efficaces que l'HEPA</u> et d'augmenter la pression du ventilateur d'extraction sans réduire le débit d'air. Une amélioration minimale est le remplacement des filtres à air de retour existants à faible efficacité par des filtres ePM1 à 80 % (anciennement F8) qui aurait une efficacité de capture raisonnable pour les particules chargées de virus (efficacité de capture 65 - 90 % pour les ePM1).

L'ASHRAE a quant à elle une approche différente du REHVA en privilégiant les filtres Merv13 (équivalent ePM1 50 % ou anciennement F7 en Europe) pour l'air recirculé, qui ont certes une moins bonne capacité de rétention du virus, mais permettent des débits utiles bien plus élevés, sans grandes adaptations des centrales de traitement d'air. L'ASHRAE table alors sur le fait que le virus n'est pas toujours isolé dans l'air, mais souvent capté ou agglutiné à une plus grosse particule, pour laquelle des filtres moins performants que les HEPA ont tout de même une relativement bonne efficacité.

Le CSTC a mené un projet d'étude (Out $2 \ln^{45} project$; Van Herreweghe et al., 2020) selon laquelle l'efficacité d'un F7 (ePM1 50 %) est plutôt limitée (± 60 %). Pour les particules du calibre de celles susceptibles de contenir des particules virales (250nm – 1 μ m, Liu et al. 2020).

Les <u>précipitateurs</u> électrostatiques sont une technologie différente, avec une efficacité équivalente aux filtres HEPA, et qui n'occasionnent pas la perte de charge de ces derniers.

En conclusion, lorsqu'il est impossible de couper complètement la recirculation, une <u>filtration centralisée</u> est la première mesure à envisager pour diminuer le risque de transmission. Les <u>filtres HEPA et les précipitateurs électrostatiques</u> sont les plus efficaces. Les filtres HEPA ne pourront pas être mis en œuvre dans tous les cas, que ce soit en adaptation d'installations, ou en nouvelles installations pour de la ventilation traditionnelle dite « de confort », au vu des difficultés techniques et de la perte de charge non négligeable qu'ils occasionnent. Ils doivent être réservés à des cas particuliers où le risque de contamination est élevé et souvent une cascade de filtres devra être envisagée.

Des filtres moins efficaces tels EPA, ou ePM1 sont plus faciles à installer. Les ePM1 ne dépasseront toutefois pas une efficacité de 60 % sur le virus de la COVID-19. Les EPA sont un bon compromis car ils offrent déjà une certaine efficacité à retenir des particules de la taille du virus sans cependant augmenter de manière trop importante la perte de pression.

4.1.2 Filtration locale

Une filtration locale est bonne solution lorsque la ventilation est insuffisante et qu'il est impossible d'installer une filtration suffisamment efficace au niveau central. Dans le cas d'une recirculation d'air qui ne peut être interrompue, la filtration locale « stand-alone » pourrait être

.be

.

⁴⁵ Out2In: Impact des techniques de filtration et de purification de l'air sur la pénétration des polluants de l'air extérieur par ventilation pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments durables, projet avec le soutien financier de la Région de Bruxelles-Capitale – Innoviris.

une option, toutefois non recommandée par le REHVA; elle impliquerait un purificateur dans chaque local, ce qui n'est pas réaliste.

Il existe alors des purificateurs d'air ambiant mobiles en « stand-alone »,

- a. <u>Soit équipés de filtres</u>. Pour rappel, pour filtrer efficacement les particules virales, les filtres doivent être <u>HEPA</u>, avec une capacité de débit au minimum de 2 ACH et de préférence à 5 ACH (REHVA, 2020).
 - De nombreuses solutions de ce type sont proposées sur le marché, pouvant filtrer jusque 6 000 m³ d'air par heure. Il sera évidemment important de s'équiper d'un appareil dimensionné par rapport aux besoins du local à traiter (multiplier le volume de la pièce par 2 ou 5 selon le débit souhaité d'ACH).
- b. Soit basés sur la <u>précipitation électrostatique</u>: au moins aussi efficaces que du HEPA (voir point 4.1.c).
 - Il est important de préciser que les systèmes efficaces sont ceux à précipitation électrostatique. Les systèmes qui produisent seulement une charge électrostatique ou les purificateurs d'air avec seulement un ioniseur ont, eux, une efficacité encore débattue dans la littérature (CSTC, REHVA).

Selon le REHVA, les purificateurs d'air sont un moyen facile à appliquer à court terme mais à plus long terme, des améliorations du système de ventilation sont nécessaires pour obtenir des taux de ventilation de l'air extérieur adéquats.

En conclusion, dans le cadre de l'épidémie de SARS-CoV-2 dans les locaux mal ventilés (et/ou qui ne peuvent être suffisamment ventilés en ouvrant les fenêtres) ou lorsqu'une filtration centralisée sur l'air de recirculation est impossible, le CSS recommande l'usage de <u>purificateurs d'air mobiles / locaux</u> en complément de la ventilation et lorsque c'est réaliste. Ceux-ci seront, soit équipés de <u>filtre HEPA</u>, soit <u>à précipitation électrostatique</u>, avec une capacité de débit au minimum de 2 ACH et de préférence à 5 ACH et dimensionnés par rapport au volume/ taille de la pièce. Il faudra veiller à l'endroit précis où les placer, à proximité des personnes dans les grands espaces, mais en évitant un flux d'air potentiellement contaminé vers elles. Le purificateur ne peut être installé dans un coin et hors de vue.

4.1.3 Entretien des filtres

Il est primordial de veiller à l'entretien technique en routine des installations de traitement de l'air (CSS 8364, 2010), de procéder régulièrement aux tests d'intégrité pour mesurer l'efficacité des filtres HEPA, ainsi qu'à leur remplacement selon les recommandations du fabricant (certains recommandent de changer chaque année) et de s'assurer de la sorte <u>du bon fonctionnement du système de ventilation</u> (CSS 8573, 2013).

Des mesures spécifiques de protection doivent être suivies par le personnel d'entretien chargé du remplacement des filtres : port de masques (selon les recommandations officielles édictées par Sciensano) et de gants au minimum, à jeter dans un sac scellé après l'opération.

4.2 Systèmes de désinfection complémentaires à la filtration

A côté des filtres, différents **systèmes de désinfection** de l'air existent déjà ou sont en développement et sont sensés améliorer la qualité de l'air.

Les différentes pistes envisagées sont reprises ci-dessous et commentées au regard des connaissances actuelles.

De nombreux systèmes de désinfection utilisent l'oxydation. Il est donc toujours dangereux d'utiliser ces techniques en présence de personnes. Il est évident que l'exposition de



personnes à l'UV, à l'ozone ou à des substances chimiques irritantes ou génotoxiques n'est en aucun cas acceptable.

Différents systèmes de désinfection complémentaires à la filtration, comme les rayons UV, l'ozone, le plasma froid, les biocides, etc., se développent de plus en plus et sont maintenant conçus pour ne justement plus exposer les personnes présentes mais seulement l'air aspiré dans le dispositif. Il y a néanmoins toujours un risque qu'il y ait des fuites d'un peu d'UV ou d'ozone dans l'atmosphère, et il est donc impossible de garantir totalement leur innocuité. On manque également encore de recul pour évaluer l'efficacité de ces dispositifs quant à la dose et la durée d'exposition du processus désinfectant. Des normes seraient nécessaires dans le domaine.

Leur intérêt dans la lutte contre le SARS-CoV-2 est probablement faible pour les espaces de gros volumes. Ces systèmes, par ailleurs coûteux et énergivores, doivent être réservés aux endroits au sein desquels la contamination est très importante, comme certaines unités des hôpitaux.

4.2.1 Les UV-C comme moyen de désinfection

a) UV-C « standard »

Les UV-C peuvent s'avérer efficaces pour limiter la transmission et la propagation des bactéries et virus à diffusion aérienne (Welch et al., 2018). Les effets des UV-C sont également prouvés quant à la désinfection des surfaces moyennant un nettoyage efficace préalable (Dexter et al, 2020) et à la décontamination des masques et respirateurs (Ludwig et al., 2020 ; Wielick et al., 2020).

Certains articles démontrent que les UV-C inactivent effectivement le SARS-CoV (Darnell et al., 2004) et le SARS-CoV-2 (Heßling et al., 2020 ; Heilingloh, 2020) dans des conditions de laboratoire.

Les UV-C agissent dans une longueur d'onde entre 200 et 280 nm ; la zone la plus efficace pour l'inactivation des micro-organismes se situerait entre 220 et 280 nm. La lampe à vapeur de mercure à basse pression est une source fréquente d'UV-C avec un pic à une longueur d'onde de 254 nm.

Il convient de distinguer :

- D'une part les systèmes mobiles pour désinfecter les surfaces et les locaux en l'absence de personnes, dont l'efficacité est prouvée et bien référencée par exemple pour la prévention des infections dans les structures hospitalières (Anderson et al., 2017), mais moins pertinents dans le cadre de l'infection au coronavirus et de cet avis;
- D'autre part, les systèmes utilisés pour la désinfection de l'air (ex : upper-room ultraviolet germicidal irradiation), utilisés en présence des personnes et développés surtout pour la tuberculose (CDC, 2020) mais aussi étudiés pour leur impact sur la grippe et autres virus respiratoires. Ce sont ces types de dispositifs qui nous intéressent dans le cadre d'une affection transmissible par l'air comme le SARS-CoV-2.

Cette technologie de désinfection de l'air est beaucoup plus courante aux Etats-Unis, et recommandée par l'ASHRAE l'*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), notamment pour combattre la tuberculose dans les refuges pour les sans-abris.



Selon le manuel de l'ASHRAE (2019, chapitre 62), l'irradiation germicide aux ultraviolets (UVGI) utilise l'énergie des ultraviolets à ondes courtes (UV-C) pour inactiver les agents viraux, bactériens et fongiques afin qu'ils ne puissent pas se multiplier et potentiellement provoquer des maladies. L'absorption des rayons UV par les acides nucléiques induit des altérations importantes notamment par formation de dimères de pyrimidines (thymines dans le cas de l'ADN; uraciles dans le cas de l'ARN). Ces altérations, si elles sont suffisamment importantes et ne peuvent être réparées par le micro-organisme, provoquent l'inactivation de l'organisme (Brickner et al., 2003; CIE, 2003).⁴⁶

La sensibilité des micro-organismes aux UV-C est toutefois très variable et est également influencée par les conditions environnementales comme la température, l'humidité relative, le milieu (air, eau, ...) et l'état de l'organisme. Les coronavirus ne semblent pas être parmi les organismes les plus sensibles (Kowalski et al., 2020). En d'autres termes, pour la plupart des systèmes ayant des valeurs d'irradiation courantes, de multiples passages seront nécessaires pour avoir un effet utile.

Le système des « ultraviolet germicidal irradiation » (UVGI) est utilisé pour les très grands locaux à haut plafond (ainsi que les pièces où il y a peu d'objets suspendus au plafond, tels des luminaires, installations techniques, etc., qui passent à travers ce faisceau UV et pourraient provoquer une réflexion indésirable de la lumière, dans le pire des cas vers la zone située en bas où sont présentes des personnes). Ces systèmes sont fixés de manière à ce qu'un faisceau de lumière UV-C horizontal y soit généré à hauteur du plafond et donc à une distance sûre des individus présents et évitant en principe l'exposition des personnes aux UV-C et donc les lésions oculaires et cutanées induites (Hadi et al., 2020), pour autant que les recommandations du fabricant en ce qui concerne les instructions de fixation du système soient respectées. L'air du local circule activement à travers cette zone et est ainsi désinfecté. Si le système est efficace avec une faisabilité théoriquement évaluée pour le SARS-CoV-2 (Beggs et al., 2020), il est par contre difficile à dimensionner en fonction de la taille et de la forme de la pièce et de s'assurer que les conditions dans le local sont idéales.

Le risque d'exposition, aussi à des rayons UV réfléchis pour les personnes doit néanmoins être totalement exclus.

Les systèmes de lampes UV-C, à intégrer notamment dans les conduits de ventilation permettent des puissances plus élevées. Déjà connus depuis longtemps pour leur efficacité contre la transmission de la tuberculose (Riley et al., 1962), de tels systèmes peuvent efficacement inactiver les coronavirus présents en aérosol (Qiao et al., 2020). Cependant, en raison de la vitesse élevée de l'air dans ces conduites, il peut paraitre difficile de dimensionner correctement ces dispositifs pour assurer le temps de contact nécessaire de l'air contaminé avec les lampes et d'irradier avec une intensité suffisante pour la désinfection. Même si on n'en trouve pas d'exemples dans la littérature, des données telles que la puissance de lampe, le débit à traiter, la section des conduites, la longueur de l'installation (et donc le nombre de lampes) devraient en théorie permettre de correctement dimensionner. Les cas concrets font défaut dans la littérature, et laissent à craindre qu'en travaillant avec les débits et tailles de conduites usuels, le nombre de lampe et la consommation électrique soit prohibitive.

Les détails du système sont donc très importants (par exemple, la conception des appareils, le type de lampe, l'emplacement de la lampe, la quantité et le mélange du flux d'air, le dimensionnement, etc.). Il n'a pas été démontré que le simple fait d'ajouter des UV à un système existant sans tenir compte de ces facteurs présente un avantage (Dixon, 2020). Les vitesses de l'air devraient être très faibles pour laisser le temps aux rayons UV d'agir sur la qualité de l'air, et le dimensionnement devrait être augmenté pour que cette solution soit pratique sur le terrain.

- 45 -

eisling et al., 2020).

.be

⁴⁶ En particulier les virus à ARN, tels les coronavirus. L'effet antiviral est essentiellement causé par les propriétés absorbantes (Heßling et al., 2020).

Les systèmes autonomes mobiles basés sur les UVC consistent essentiellement en un boîtier dans lequel se trouvent des lampes UV et à travers lequel circule de l'air entraîné par un ventilateur. Le débit peut généralement être ajusté. Un débit plus faible permet un temps de contact plus long, mais avec une quantité moindre d'air désinfecté dans la pièce par unité de temps et donc moins de passages de l'air dans le système. Un débit plus élevé implique davantage d'air désinfecté et plus de passages par unité de temps, avec un temps de contact limité.

Le positionnement de ces unités mobiles est un point important qui dépendra en partie des spécifications du système (position de l'alimentation et du retour de l'air filtré) et dépend également de l'agencement, de l'espace libre dans la pièce. Dans ce domaine, il n'est pas possible de formuler des recommandations génériques, à part celles de privilégier plusieurs petites installations réparties dans la pièce plutôt qu'une seule grande et de ne pas masquer les ouvertures d'admission et d'évacuation (donc pas d'ouvertures en direction du mur).

<u>La maintenance des systèmes à UV-C</u> est également un point extrêmement important au bon fonctionnement de ces systèmes. Elle nécessite un équipement spécifique pour le changement des lampes, la mesure de la puissance des lampes, le nettoyage régulier pour éviter l'accumulation de poussières, etc. Les lampes doivent être remplacées régulièrement selon les spécifications du fabricant (fréquence indicative de 9 000 heures en utilisation continue (à peu près annuellement) selon l'ASHRAE (2016, chapitre 17), ce qui implique un coût important après l'achat initial du système. Le vieillissement et l'encrassement des lampes entraînent une baisse de la sortie des UV-C, ce qui a donc un effet direct sur l'efficacité du système.

Pour cette raison supplémentaire, de tels systèmes ne sont pas recommandés dans les milieux non contrôlés, soit des locaux où la responsabilité et le suivi de cette maintenance ne sont pas clairs.

En ce qui concerne les risques pour la santé des UV-C, les études font état d'effets néfastes sur les yeux et la peau de l'homme, en cas d'exposition directe, principalement suite une exposition aiguë accidentelle à des niveaux élevés de rayonnement UV-C provenant de lampes UV-C. En revanche, l'estimation quantitative des seuils pour les effets à long terme sur la santé n'a pas pu être dérivée des données actuellement disponibles (SCHEER, 2017). Comme les UVC ont des propriétés génotoxiques et carcinogènes, il n'y a pas de dose seuil en dessous de laquelle le risque est inexistant. Les radiations UV induisent aussi la cataracte. Les UVC sont cependant présents dans la lumière du soleil. L'exposition au soleil est responsable d'une augmentation importante de l'incidence de mélanomes et autres tumeurs de la peau (Emri et al., 2018 ; Mancebo et Wang, 2014). Une exposition minimale à la radiation de lampes est donc probablement non-significative. Cependant, l'utilisation de lampes UV en présence humaine est déconseillée (WHO, 2019).

Lors de l'analyse de risque d'un dispositif à UV-C, il conviendra de respecter les normes fédérales (Code du bien-être au travail) et de l'*International Commission on non-ionizing radiation protection* (ICNIRP, 2004). Les valeurs limites d'exposition pour les rayonnements UV-C pour les travailleurs sont reprises dans la norme fédérale relative à l'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques artificiels, à l'annexe V.6-1 du titre 6 du livre V du code. A partir de 180 nm, des lignes directrices de l'ICNIRP s'appliquent principalement aux employés et à la population en général.

Etant donné que la base de fonctionnement de l'UV-C est d'endommager les acides nucléiques (ADN ou ARN), le risque d'endommager l'ADN humain est bien réel. Lorsque la dose d'UV-C n'est pas suffisante, le risque est de créer des souches de virus mutées (selon les cas vers des virus moins pathogènes ou plus pathogènes) ou même plus résistantes aux UV (Raeiszadeh & Adeli, 2020).



En ce qui concerne le risque de production d'ozone par les lampes UV, elle n'est significative que pour des longueurs d'ondes inférieures à 200 nm (Tapp et al., 2012). Au-delà de 200 nm, l'ozone absorbe les UV et se redécompose en oxygène. Les lampes au mercure ont un pic à 254 nm (utile pour attaquer l'ADN) et un à 185 nm. Des *coatings* courants, comme des revêtements en verre permettent d'absorber le pic de 185 nm, évitant ainsi la production d'ozone (ASHRAE, chapitre 17, 2016). La longueur d'onde germicide des UV-C ne génère donc pas d'ozone.

Même s'il est très difficile de garantir qu'il n'y ait pas du tout d'ozone qui soit produit dans ce type de système, il s'agit d'un problème de santé secondaire dans le cadre de l'épidémie de SARS-CoV-2.

b) Far UV-C

Les UV-C dits « lointains » (far UV-C) un nouveau type d'UV-C récemment étudié, de longueur d'onde de 207 à 222 nm, plus courte et de dose plus basse que les UV-C utilisés couramment, semblent moins dangereux à manipuler, et inactivent les virus et les bactéries (Welch et al., 2018 ; Buonanno et al. 2013 ; Buonanno et al., 2016 ; Buonanno et al., 2017). Ces UV-C « lointains » sont présentés comme une éventuelle solution contre la COVID-19.

Expérimentalement, de faibles doses d'UV-C à 222 nm, de l'ordre de 1,2 à 1,7 mJ/cm² inactivent 99,9 % de coronavirus aérosolisés (Buonanno et al., 2020). Lorsque ces données sont extrapolées à des locaux publics occupés, elles résultent en 90 % d'inactivation en 8 min, 95 % en 11 min, 99 % en 16 min et 99,9 % en 25 min, approximativement. De plus, selon un modèle prédictif, lorsqu'ils sont couplés à la ventilation de la pièce, les UV-C augmentent l'inactivation du SARS-CoV-2 de 50 à 85 % par rapport à la seule ventilation (Buchan et al., 2020). Ces résultats sont convaincants, mais cette étude (Buannano, 2020) est la seule existante sur le sujet pour le SARS-CoV-2.

En ce qui concerne les risques pour la santé des UV-C lointains, ils peuvent selon Woods et al. (2015) toucher la couche cornée, à des doses faibles inférieures à l'effet bactériostatique seuil.

Toutefois, Buchan et al. (2020) conclut que ces longueurs d'onde UVC lointaines ne peuvent pénétrer ni la couche cornée humaine ni, selon cette publication, la couche lacrymale oculaire, elles ne sont pas cancérigènes ou cataractogènes et peuvent donc être utilisées en toute sécurité dans les applications destinées aux personnes. Cette observation devrait cependant être confirmée de façon indépendante.

Les UV-C dont la longueur d'onde est inférieure à 240 nm peuvent convertir photochimiquement l'oxygène de l'air ambiant en ozone. C'est le cas de certaines lampes à vapeur de mercure à basse pression qui génèrent des UV-C de longueur d'onde de 185 nm (Shalk et al., 2006). Comme évoqué plus haut, c'est sous 200 nm qu'il y a production d'ozone. Les lampes au mercure peuvent donc être *coatées* pour éviter le pic à 185 nm, et résoudre le problème.

Même si elle semble être déjà utilisée dans les hôpitaux aux Etats-Unis pour irradier air et surfaces, cette technologie n'est pas encore suffisamment mature que pour être recommandée. Pour cette raison, le CSS considère que des recherches complémentaires pour en assurer l'absence de risque pour l'humain et des lignes directrices seront nécessaires avant d'installer des systèmes basés sur les UV-C lointains dans les lieux publics.

Les UV-C ont prouvé leur efficacité dans la désinfection des surfaces, mais ne sont pas utiles dans la problématique des aérosols.

En ce qui concerne la désinfection de l'air, l'utilisation des UV-C a un potentiel dans la lutte contre toute une série de micro-organismes, et ils sont utilisés en milieu hospitalier, mais les preuves d'efficacité spécifique par rapport au SARS-CoV-2 en conditions réelles d'utilisation et de sécurité manquent dans la littérature. Les



coronavirus ne semblant pas être des plus sensibles, de multiples passages par les UV-C seront sans doute nécessaires pour avoir un effet adéquat.

On distingue quatre types d'applications des UV-C :

- Les systèmes « *upper-room* » uniquement dans de très grands locaux à haut plafond (ou des locaux avec peu d'objets suspendus) ;
- Les systèmes de lampes à UV-C à intégrer dans des conduites de ventilation, connus pour leur efficacité contre la transmission de la tuberculose présentent la difficulté de la vitesse élevée de l'air dans les conduites et, par conséquent, un temps de contact court;
- Les systèmes autonomes mobiles de lampes UV-C, dans des systèmes fermés pour éviter une exposition des personnes ;
- Enfin, les technologies basées sur les UV-C lointains, qui sont prometteuses, mais qui manquent trop de recul et de donnés au niveau de leur efficacité et sécurité d'utilisation dans des locaux en présence de personnes.

L'implémentation concrète des trois types de systèmes à UV-C standards pose un défi en termes de choix (conception, type de lampe, emplacement de la lampe, quantité et mélange de flux d'air, etc.), de dimensionnement et réglage (nombre de machines dans la pièce, débit nécessaire, vitesse de passage et temps de contact, etc.), de positionnement (en fonction de la taille et de la disposition de la pièce, pour permettre le temps de contact nécessaire de l'air contaminé pour assurer la désinfection). La maintenance des systèmes à UV-C est également un point crucial, qui demande du personnel qualifié muni d'un équipement spécifique de protection : nettoyage régulier des lampes, contrôle régulier de l'efficacité des lampes, changement de lampes, etc. qui impliquent un coût important en sus de l'achat de départ – non négligeable non plus.

En termes de sécurité, les risques aux longueurs d'onde germicides (exposition UV-C, production d'ozone font que ces techniques ne peuvent être appliquées que dans un contexte ou l'exposition de personnes peut être évitée ou sévèrement limitée. Les risques génotoxiques et carcinogènes des UV devraient être évités en utilisant des systèmes n'exposant pas les personnes : soit par leur localisation (système « upperroom » en hauteur en respectant les prescriptions du fabricant ; système dans le conduit de ventilation), soit par leur conception (système fermé).

Le risque de production d'ozone peut entretemps être évité en utilisant des lampes appropriées (par exemple des lampes à « coatings »).

Le risque par contre d'une production de virus mutés par utilisation sous-optimale des UV, en raison d'un mauvais dimensionnement ou d'une maintenance négligée, nécessite des recherches supplémentaires.

En raison des difficultés mentionnées au niveau du dimensionnement, de la maintenance et des risques possibles pour la santé, et du manque de données sur l'efficacité réelle contre le SARS-CoV-2 de la plupart de ces appareils, le CSS ne recommande actuellement pas les systèmes à UV-C de désinfection de l'air en dehors des espaces au sein desquels la contamination est très importante, comme certaines unités des hôpitaux, ou des grandes organisations disposant d'une équipe technique à même de faire les choix judicieux d'achat, de dimensionnement et de maintenance.

L'utilisation de tels systèmes, en complément à la ventilation, est toutefois prometteuse et mérite des études supplémentaires.



4.2.2 Ozone comme moyen de désinfection

L'avis 9593 (CSS, 2020) concernant le « SARS-CoV-2 et l'utilisation de tunnels d'ozone pour « désinfecter » les charriots et les clients » mentionne que les propriétés oxydantes de l'ozone sur une multitude de microorganismes sont bien connues.

Le SARS-CoV-2 est relativement sensible à certains facteurs physiques et chimiques et l'ozone a été proposé comme moyen de désinfection de l'environnement (Cristiano, 2020; Manjunath et al., 2021).

L'ozone présente un effet virucide sur le SARS-CoV-2. Cependant, selon cet avis, une utilisation de l'ozone gazeux pendant une durée prolongée (au moins 10 minutes) et à une concentration élevée (10 à 20 ppm) est incompatible avec une présence humaine (irritations des yeux et des poumons). L'ozone réagit avec l'ADN et cause, dans des souris mais pas dans des rats des tumeurs pulmonaires dans des expériences du *Environmental Toxicology Program* des USA (Sills et al.,1995; Sills et al., 1999). L'ozone cause des mutations plus particulièrement dans des gènes qui sont importants pour la carcinogenèse (K-ras proto-oncogène) chez les souris (Sills et al.,1995). En 1992, l'ozone était considérée comme un toxique de haute priorité par la *US Environmental Protection Agency* (Fowle et al., 1992). Une utilisation à des seuils permis par les autorités sanitaires pour l'exposition de la population à l'ozone est quant à elle probablement inefficace pour tuer les microorganismes. Ce n'est pas le cas des désinfectants classiques, qui sont efficaces contre le SARS-CoV-2.

Des concentrations faibles de 0,1 et 0,05 ppm d'ozone (concentration maximale tolérée selon la *Food and Drug Administration* des États-Unis), dans l'air humidifié durant une période de 10 et 20 h, respectivement, réduisent expérimentalement l'infectivité du SARS-CoV-2 de 95 % (Murata et al., 2020). Il manque cependant des données sur l'efficacité de l'ozone gazeux à faible concentration envers le SARS-CoV-2 dans des locaux, en conditions réelles d'utilisation.

D'autres paramètres ne sont pas en faveur de l'utilisation actuelle de l'ozone comme moyen de désinfection. La consommation d'énergie due à la production d'ozone par décharge électrique du générateur est un autre facteur limitant mentionné dans l'avis, à prendre en compte en cas d'application plus large de cette technique.

De plus, contrairement aux lampes UV dont l'effet s'arrête au moment où elles s'éteignent, l'ozone reste présent dans l'air après son action. Il faut donc l'évacuer ou attendre suffisamment longtemps avant de rentrer dans la pièce. La demi-vie de l'ozone serait d'environ 30 minutes.

Le CSS ne recommande donc pas actuellement l'usage de l'ozone comme moyen de désinfection.

4.2.3 Autres systèmes de désinfection

Des <u>systèmes à plasma</u> froid ont été proposés pour traiter différents virus (Filipic et al., 2020) car le plasma froid entraine la libération d'espèces réactives oxydantes et d'UV qui ont une activité bactéricide significative. Aucune étude spécifique n'est disponible pour le cas du virus SARS-CoV-2, mais une bonne efficacité a été atteinte pour l'*Escherichia virus MS2*. Le procédé libère cependant jusqu'à 4 ppm d'ozone, ce qui est dangereux pour la santé (Xia et al., 2019).

De même, il n'y a pas de preuve clinique directe de l'avantage des <u>purificateurs d'air portables</u> basés sur d'autres technologies que la filtration HEPA ou à précipitation électrostatique vue au point 4.1.2 – Filtration décentralisée), plutôt à destination des particuliers, pour réduire le risque de maladies infectieuses.



L'usage combiné d'UV et de solides photocatalytiques (principalement le TiO₂) permet de libérer localement des radicaux *OH qui peuvent inactiver les virus (Mohan et al., 2021). Des matériaux catalytiques vraiment adaptés doivent cependant encore être développés et aucune étude ne s'est actuellement penchée sur les virus SARS-CoV (Habibi-Yangjeh et al., 2020). Des dispositifs basés sur la photocatalyse existent déjà sur le marché. Ces dispositifs ont montré une certaine efficacité de désinfection antibactérienne, mais plus de données concernant la sécurité sont nécessaires.

Il n'y a actuellement pas non plus d'évidence scientifique d'une efficacité de la <u>simple</u> <u>ionisation des particules présentes dans l'air</u>, sans capture (contrairement à ce que fait le précipitateur électrostatique abordé au point 4.1.c)) dans la lutte contre le virus SARS-CoV-2.

La <u>brumisation au peroxyde d'hydrogène</u>: la brumisation est précédée par un nettoyage de la pièce. Il s'agit d'un gaz (H₂O₂) qui reste dans l'air après son action. Ce gaz est un agent oxydant et désinfecte en produisant des radicaux hydroxyles et des anions superoxydes, qui attaquent les composants cellulaires de l'ADN. Cette méthode de désinfection est efficace pour désinfecter les espaces clos et les équipements et a une activité à large spectre contre les micro-organismes (Humayun et al., 2019). Il faut attendre plusieurs heures avant de pouvoir rentrer dans la pièce traitée, en raison des effets néfastes sur l'être humain. Il n'aura de plus pas d'effet pour diminuer le virus une fois que les personnes sont revenues dans la pièce.

Certains dispositifs sur le marché combinent diverses formes de traitement (UV, UV-LED⁴⁷, *blue light*, ozone, plasma, ionisation, etc.). Rien ne prouve actuellement l'existence d'effet de synergie entre ces différentes méthodes, alors que de tels synergies existent pour certains polluants (da Costa Filho et al., 2019).

Par conséquent, le CSS ne recommande aucune de ces techniques alternatives en plus d'une ventilation et de l'éventuelle purification de l'air par des appareils mobiles équipés de filtres HEPA.

4.2.4 Systèmes de purification de l'air pour les particuliers

En raison du manque de preuves d'efficacité, ces systèmes de purification de l'air ne devraient pas être recommandés. La bonne ventilation de la pièce semble plus importante à cet égard.

4.3 Conclusion

Pour diminuer le risque de transmission du SARS-CoV-2 par aérosols, les meilleures techniques disponibles dans les locaux où la ventilation n'est pas suffisante sont les systèmes autonomes basés du la filtration HEPA ou la précipitation électrostatique, avec une capacité de débit au minimum de 2 ACH et de préférence à 5 ACH, dimensionnés par rapport à la taille de la pièce et correctement positionnés.

En raison de leur coût, des grandes difficultés de dimensionnement, de maintenance et de risques pour la santé, les systèmes de désinfection basés sur les UV-C ne peuvent, en général, pas être considérés comme une solution efficace et sûre.

Dans des cas particuliers, par exemple dans des institutions cliniques ou dans certains espaces industriels, ces technologies peuvent apporter une solution. Dans tous les cas, une étude coût/bénéfices, un processus d'achat précis, des responsabilités et un suivi clairs de la

_



⁴⁷ Gerschman et al. (2020)

maintenance, ainsi que les effets toxiques possibles sur l'être humain doivent toujours être pris en compte.

Les autres systèmes de désinfection (plasma, ozone, ionisation de l'air, etc.), n'ont prouvé ni leur efficacité ni leur absence de risques pour la santé et sont donc à proscrire.

Les systèmes de filtration et de désinfection ne sont pas à rejeter complètement, certaines applications spécifiques⁴⁸ sont efficaces. Néanmoins, le CSS est d'avis que leur intérêt est mineur par rapport à une ventilation correcte avec un apport suffisant d'air neuf, la limitation de la recirculation de l'air et le respect de toutes les règles d'hygiène connues, comme le port du masque, la désinfection des mains et des surfaces et le respect des distances. S'ils sont utilisés, ces systèmes doivent l'être en complément de la ventilation, mais ne pourront la remplacer.

5 Autres dispositifs déplaçant l'air

5.1 Ventilateurs individuels

En période de chaleur, il est tentant d'utiliser des ventilateurs de table ou sur pied pour se rafraîchir.

Leur utilisation est déconseillée dans les espaces fermés. En effet, l'air soufflant du ventilateur pourrait aller d'une personne infectée – même asymptomatique – directement sur une autre et augmenter le risque de transmission, que ce soit par les gouttelettes ou les aérosols. L'US CDC conseille de retirer les ventilateurs de refroidissement personnels des lieux de travail afin de réduire la propagation potentielle de tout virus en suspension dans l'air ou en aérosol.

Néanmoins, avant de supprimer complétement les ventilateurs, il devrait toujours y avoir une évaluation des risques et des avantages pour chaque situation particulière. Par exemple, selon les données de mortalité en Belgique, les épisodes de canicule en été entrainent une nette augmentation de la mortalité. Les résidents des maisons de repos sont particulièrement vulnérables aux températures extrêmes. Pour de telles situations, le CSS propose de suivre les recommandations de l'OMS: si l'utilisation d'un ventilateur de table ou sur pied est inévitable, il est important d'augmenter le renouvellement d'air extérieur en ouvrant les fenêtres et de minimiser le soufflage d'air d'une personne (ou d'un groupe de personnes) vers une autre personne (ou un groupe de personnes). Le CSS recommande d'aller plus loin et de ne jamais diriger le souffle du ventilateur vers les personnes, et de le placer proche d'une fenêtre ouverte pour qu'il souffle dans la pièce de l'air neuf extérieur. Pour rappel, les locaux doivent de toute façon être régulièrement aérés en ouvrant les fenêtres.

Toujours selon l'OMS, l'utilisation de ventilateurs de plafond peut améliorer la circulation de l'air extérieur et éviter les poches d'air stagnant dans l'espace occupé. Toutefois, il est essentiel de maintenir une bonne ventilation extérieure lorsque l'on utilise des ventilateurs de plafond, en ouvrant régulièrement les fenêtres.

L'utilisation de ventilateurs individuels est déconseillée à cause du risque de transmission via leur puissant flux d'air. Si leur utilisation est inévitable, le CSS recommande d'augmenter le renouvellement d'air extérieur en ouvrant les fenêtres, de ne jamais diriger le souffle du ventilateur vers les personnes, et de le placer proche d'une fenêtre ouverte pour qu'il souffle dans la pièce de l'air neuf extérieur.



⁴⁸ Par exemple dans les hôpitaux.

5.2 Souffleries d'air chaud ou aérothermes

Il arrive que certains locaux anciens, très mal isolés, de grands volumes, comme des halls de sport, des hangars, des salles d'exposition, des tentes et chapiteaux soient réchauffés avec des souffleries d'air chaud/aérothermes aspirant l'air intérieur, le réchauffant et le renvoyant dans la pièce.

Le risque pourrait être que l'air expiré par des personnes infectées dans la pièce soit renvoyé sans filtre et avec force sur tous les autres occupants. Ce type d'appareils ne devrait néanmoins pas augmenter la quantité de polluants aériens mais les mélanger et les disperser de manière plus intense. De plus, ces aérothermes sont en général utilisés dans de grands volumes mal isolés, où une éventuelle charge virale devrait être suffisamment diluée et où il est probable que de l'air neuf rentre naturellement.

Il faut faire la distinction entre les aérothermes à recirculation pure, donc sans air neuf extérieur et les aérothermes avec prise d'air neuf intégrée.

<u>Dans le cas d'un aérotherme avec prise d'air neuf intégrée</u>, le risque est limité ; la recommandation est de positionner le registre d'air en position d'aspiration maximale d'air neuf, ainsi que d'éviter que des personnes se tiennent directement dans le courant d'air chaud soufflé.

<u>Dans le cas d'un aérotherme à recirculation pure</u>, le risque est plus élevé. S'ils ne peuvent être évités, la recommandation est de faire fonctionner l'aérotherme à la vitesse minimale pour garantir la température de chauffage et combiner avec un apport d'air extérieur – par exemple par ouverture de fenêtres, ou en plaçant l'appareil, s'il est mobile, devant une fenêtre/porte ouverte, ainsi que d'éviter que des personnes se tiennent directement dans le courant d'air chaud soufflé.

L'utilisation d'aérothermes peut représenter un risque. Pour diminuer ce risque, il est recommandé d'apporter ou augmenter de l'air neuf extérieur, en ouvrant des fenêtres et des portes, ainsi que d'éviter que des personnes se tiennent directement dans le courant d'air chaud soufflé.

5.3 Sèche-mains à air pulsé

Si certaines études démontrent que les sèche-mains à air chaud diminuent le nombre de bactéries viables sur les mains (Mutters et Warnes, 2019; Snelling et al., 2011; Suen et al., 2019), ces appareils participent toutefois à l'aérosolisation des germes envoyés dans l'environnement (Alharbi et al., 2016; Best et a.l, 2015; Huang et al., 2012; Huesca-Espitia, 2018). En période de pandémie virale au SARS-Cov-2 et au vu des voies de contamination actuellement connues, les sèche-mains à air pulsé et à air chaud doivent être à tout prix évités.

Selon Best et al. (2015), l'efficacité du séchage des mains est importante pour prévenir la propagation des agents pathogènes. La propension de trois méthodes courantes de séchage des mains (sèche-mains à air pulsé, sèche-mains à air chaud et serviettes en papier) à contaminer l'environnement, les utilisateurs et les autres personnes présentes ont été comparées. L'étude démontre que si des mains sont mal lavées, c'est le sèche-mains à air pulsé (« jet air dryer ») qui envoie dans l'air le plus d'aérosols de germes encore présents sur les mains après le lavage.

La numération des bactéries de l'air à proximité du séchage des mains était selon cette étude 4,5 fois plus élevée pour le séchoir à jet que pour le séchoir à air chaud, et 27 fois plus élevée que pour l'utilisation de serviettes en papier. La numération des particules en suspension dans



l'air était également significativement différente lors de l'utilisation du séchage à l'aide de serviettes par rapport au séchage à l'air chaud. Les expériences de visualisation ont démontré que le séchoir à air chaud provoquait la plus grande dispersion de gouttelettes.

Même si certains sèche-mains à air pulsé sont munis de filtres HEPA, ceux-ci sont situés sur l'air propulsé, et n'empêchent donc pas que la force de cet air propre envoie des gouttelettes dans l'air et sur les surfaces environnantes.

Donc, des mains contaminées par le SARS-CoV-2 et mal lavées, séchées dans le sèchemains à air pulsé vont envoyer des aérosols et contaminer l'air et les surfaces au travers de l'utilisation de ces appareils.

Les sèche-mains à air pulsé ou à air chaud contribuent à la production d'aérosols susceptibles de contaminer l'air ambiant, les surfaces environnantes comme le lavabo, ou atteindre directement les muqueuses de la bouche, du nez et des yeux par inhalation ou contact, d'autant plus si l'utilisateur de l'appareillage est infecté et contaminant. Le CSS recommande dès lors d'installer des serviettes en papier jetable et de condamner les sèche-mains à air pulsé ou à air chaud dans les sanitaires durant toute la durée de la pandémie de Sars-Cov-2 et de forte circulation de virus.

5.4 Sèche-cheveux

Comme les sèche-mains à air pulsé, l'usage de sèche-cheveux présente un risque non négligeable d'envoyer de l'air chargé en virus dans l'environnement et vers d'autres personnes.

La littérature ne rapporte pas de cas de contamination identifiée dans un salon de coiffure. Au contraire, le cas de 2 coiffeurs contaminés et ayant continué leur activité en coiffant 139 clients a été analysé à Springfield, Missouri (Hendrix et al., 2020) et n'a révélé aucun client contaminé. Coiffeurs comme clients portaient un masque.

Par prudence, certains pays ont interdit l'usage des sèche-cheveux, que ce soit chez les coiffeurs, comme dans les salles de sports ou les vestiaires des piscines.

En l'absence de données précises, le CSS recommande la prudence. Comme dans tous les établissements ouverts au public – mais certainement dans ce type d'établissement où la distance physique ne peut être respectée et où les personnes peuvent passer plusieurs heures, un système de ventilation efficace est essentiel – la qualité de l'air devrait être contrôlée par des senseurs à CO₂. Les mesures classiques sont incontournables : port du masque, désinfection régulière des surfaces, ouvrir les portes et fenêtres régulièrement même s'il y a un système de ventilation, limitation du nombre de clients par rapport au volume du salon, distance de sécurité entre les clients. Le coiffeur évitera en outre de diriger le sèchecheveux de telle sorte que le souffle passe d'une personne à l'autre.



6 Types de bâtiments/locaux

L'objet de l'avis n'est pas de donner des recommandations spécifiques par type de bâtiment ou d'environnement.

Quel que soit le bâtiment concerné, les principes majeurs sont de ventiler le plus possible, avec de l'air neuf en évitant la recirculation d'air et en limitant la jauge de personnes et en appliquant les règles d'hygiène de base maintes fois répétées. Dans la plupart des cas, ces principes seront suffisants pour limiter le risque de transmission du SARS-CoV-2 par voie aéroportée.

Une analyse du rapport risques/bénéfices devrait toutefois être toujours réalisée, afin de rajouter des mesures supplémentaires si cela s'avère nécessaire, et certainement dans les cas où l'ensemble des mesures de base n'est pas possible, entre-autres lorsque l'on ne peut pas couper complétement la recirculation, lorsqu'il est impossible d'assurer une ventilation suffisamment efficace, lorsque le port du masque n'est pas continu (ex : restaurant), lorsque la distance de sécurité ne peut être assurée (ex : métiers de contact comme l'esthétique), etc.

Dans l'analyse de risques, il faudra distinguer :

1) L'extérieur

Le risque de transmission par aérosol du virus SARS-CoV-2 paraît très faible compte tenu de la dilution des aérosols viraux en plein air. Respecter la distance d'au moins 1,5 m reste cependant très important.

2) <u>Les bâtiments et locaux non-résidentiels</u>, que les personnes n'occupent que de manière occasionnelle, mais où ils peuvent néanmoins rester plusieurs heures.

Y sont inclus les bureaux, y compris les salles de réunion, les bâtiments de services publics et administrations, les zones de travail spécifiques (ex : atelier), les écoles, les locaux sportifs les salles de spectacle, centres commerciaux, les restaurants et les bars, etc.

Les recommandations du REHVA et du présent avis s'appliquent spécifiquement à ce type de bâtiments.

<u>Remarque</u>: Dans les environnements clos de grand volume, le risque de transmission par aérosol du virus SARS-CoV-2 est en théorie faible compte tenu de la dilution des aérosols viraux par la ventilation des espaces, à condition que le nombre de personnes présentes reste limité.

3) Les bâtiments résidentiels

Il peut s'agir autant des habitats individuels que les structures hospitalières, maisons de repos et de soins, etc.

<u>Dans les habitats individuels</u>, les mesures recommandées lorsque des personnes extérieures à la bulle viennent à la maison sont le port du masque en dehors des moments où l'on boit ou l'on mange, le respect des distances physiques, la désinfection régulière des mains, éviter de chanter ou de crier, et bien entendu, laisser la fenêtre ouverte en continu – éventuellement en oscillo-battant - pour aérer la pièce. Après le départ des invités, il est recommandé d'aérer la pièce 15 minutes fenêtres grand-ouvertes.

Le CSTC (2020) a également donné plusieurs recommandations applicables aux habitats individuels sans système de ventilation mécanique.

<u>Dans un habitat individuel où séjourne un malade</u>, le HCSP recommande d'aérer ponctuellement par ouverture en grand des fenêtres de la pièce où séjourne le malade pendant minimum 15 minutes et au moins 3 fois par jour, en particulier pendant les épisodes de forte émission de gouttelettes.



« La stratégie consiste à ventiler par ouverture en grand des fenêtres cette pièce de façon séparée du logement en maintenant fermée la porte de la pièce, et en assurant le plus possible son étanchéité (calfeutrage par boudin de bas de porte) vers le reste du logement. Tout en assurant la sécurité des locaux, il est important de profiter de la nuit pour aérer en continu les locaux inoccupés pendant une plus longue période si les conditions climatiques le permettent. »

Il faut s'assurer que l'aération se fasse vers l'extérieur et non pas vers d'autres pièces occupées par des personnes.

Le CSS rejoint les recommandations du *Risk Management Group* reprises dans ses « Conseils d'hygiène au patient en isolement à la maison » (version du 25 janvier 2021) de laisser ouvertes aussi souvent que possible les fenêtres de la pièce où reste le malade.

<u>Les établissements hospitaliers et médicaux</u> ne sont pas dans le scope de cet avis. Ces nouvelles connaissances sur la transmission aérienne du SARS CoV-2 devraient être utilisées pour la gestion de la contamination dans les établissements de soins (chambres d'isolement aérien pour les patients COVID, nécessité de pression négative pour ces chambres, ventilation des locaux de consultation où le patient non-COVID doit enlever son masque pour l'examen, prise de mesures adéquates dans les chambres communes tant qu'une période d'incubation de la COVID-19 ne peut pas être exclue, surtout pour les patients immunodéprimés et en gériatrie, etc.).

Une attention particulière doit être accordée aux maisons de repos et certaines structures hospitalières anciennes qui n'ont pas de ventilation mécanique centrale, et où la seule possibilité d'aérer est l'ouverture des fenêtres. Cette solution n'est pas tenable à long terme. Surtout pour les personnes fragiles des maisons de repos et hospitalisées, il est urgent que des mises aux normes soient réalisées en installant des systèmes de ventilation efficaces.

4) Les transports

Qu'ils soient publics ou individuels, les transports présentent un risque non négligeable de contamination au SARS-CoV-2.

Plusieurs cas de contamination ont été rapportés dans des <u>transports publics</u>; notamment celui de deux bus empruntés par 128 personnes pour assister à un événement religieux en Chine. Le tiers des passagers de l'un des deux bus ont contracté le virus. Shen et al. (2020) ont analysé en détail ce cas de contamination. Personne ne portait de masque, l'air y était recirculé, et les personnes contaminées n'étaient pas forcément à proximité de la personne malade. Leur conclusion est que le SARS-CoV-2 est hautement transmissible dans les environnements fermés avec recirculation de l'air.

Dans une étude récente, Moreno et al. (2020) ont effectué des prélèvements dans des métros et bus de Barcelone et ont conclu qu'une attention particulière doit être portée aux systèmes de ventilation et à la désinfection régulière des véhicules dans les transports publics pour éliminer efficacement les traces du virus dans tout le véhicule, en particulier aux moments où les cas de COVID-19 sont les plus nombreux. La modélisation de la probabilité d'infection lors de voyages en bus selon différents scénarios indique que la ventilation forcée réduit considérablement le risque.

Les propensions à l'infection dans les espaces confinés, notamment en avion et voiture individuelle par la transmission de gouttelettes et d'aérosols résultant d'un jet de toux d'une personne infectée, dans des conditions de ventilation variables ont été examinées par Jayaweera et al. (2020). Selon les auteurs, il existe des preuves démontrant un risque important de propagation de COVID-19 dans un avion lorsqu'un



patient symptomatique ou même asymptomatique se trouve à bord. En outre, les facteurs environnementaux tels qu'une humidité relative modérément basse (50 %), une température basse (< 25 °C) et une ACH modérée (< 30 par heure) permettraient au SARS-CoV-2 de rester en cabine pendant de longues périodes.

<u>Pour la voiture</u>, le taux de renouvellement d'air varie fortement entre différents scénarios – comme véhicule à l'arrêt fenêtres fermées (entre 0,42 et 1,09 ACH), climatisation en marche (entre 1 et 3 ACH), ventilateurs en recirculation (entre 1,8 et 3,7 ACH), climatisation arrêtée mais ventilateurs en marche sur l'air neuf et fenêtre fermées (entre 13,3 et 26,1 ACH) ou climatisation et ventilateurs arrêtés et fenêtre ouvertes (entre 36,2 et 47,5 ACH), etc.

Les auteurs concluaient que voyager dans un véhicule individuel avec des personnes à bord dans des conditions de climatisation et de fenêtres fermées, présente un facteur de risque d'infection d'hôtes sensibles significatif, bien que des masques soient portés. Ils recommandent dès lors de rouler avec climatisation éteinte et fenêtres ouvertes en période de pandémie de COVID-19.

En conclusion, les transports sont des environnements clos et confinés. En voiture individuelle, lorsqu'on ne voyage pas avec ses proches, il est recommandé de ne pas utiliser la recirculation en coupant la climatisation, et de ventiler avec l'air extérieur en ouvrant les fenêtres.

Pour les transports publics, chaque gestionnaire doit mettre en place les mesures nécessaires pour limiter la propagation, en évitant la recirculation d'air, en augmentant l'apport d'air neuf, en ouvrant les fenêtres dans les transports où c'est possible. De plus, les transports devraient être nettoyés et désinfectés chaque jour en période de forte circulation du virus.

Dans tous les cas, le port du masque est essentiel.



V REFERENCES

- Ahlawat A, Mishra SK, Birks JW, Costabile F, Wiedensohler A. Preventing Airborne Transmission of SARS-CoV-2 in Hospitals and Nursing Homes. Int J Environ Res Public Health 2020,17:8553.
- Ahlawat A, Wiedensohler A, Mishra SK. An Overview on the Role of Relative Humidity in Airborne Transmission of SARS-CoV-2 in Indoor Environments. Aerosol Air Qual Res 2020;20:1856–61.
- Alharbi SA, Salmen SH, Chinnathambi A, Alharbi NS, Zayed ME, Al-Johny BO et al. Assessment of the bacterial contamination of hand air dryer in washrooms. Saudi J Biol Sci 2016;23:268–71.
- Anderson DJ, Chen LF, Weber DJ, Moehring RW, Lewis SS, Triplett PF et al. Enhanced terminal room disinfection and acquisition and infection caused by multidrug-resistant organisms and Clostridium difficile (the Benefits of Enhanced Terminal Room Disinfection study): a cluster-randomised, multicentre, crossover study. Lancet 2017;389:805-14.
- Anderson EL, Turnham P, Griffin JR, Clarke CC. Consideration of the Aerosol Transmission for COVID-19 and Public Health. Risk Anal 2020;40:902-7.
- Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. Sci Rep 2019;9:2348.
- ASHRAE. ASHRAE Handbook HVAC Applications (SI). 2019.
- ASHRAE, chapitre 17, 2016
- Atkinson J, Chartier Y, Pessoa-Silva CL, Jensen P, Li Y, Seto WH. Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings: Annex D - Basic concept of ventilation flow rate. Geneva: World Health Organization; 2009.
 Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143289/
- Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. Environ Int 2018;121:51-6.
- Banik RK, Ulrich A. Evidence of Short-Range Aerosol Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2 and Call for Universal Airborne Precautions for Anesthesiologists During the Coronavirus Disease 2019 Pandemic. Anesth Analg 2020;131:102-4.
- Beggs CB, Avital EJ. Upper-room ultraviolet air disinfection might help to reduce COVID-19 transmission in buildings: a feasibility study. PeerJ 2020;8:10196.
- Best EL, Parnell P, Wilcox MH. Microbiological comparison of hand-drying methods: the potential for contamination of the environment, user, and bystander. J Hosp Infect 2014;88:199-206.
- Bhagat, RK, Davies Wykes MS, Dalziel SB, Linden PF. Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. J Fluid Mech 2020;903.
- Birgand G, Peiffer-Smadja N, Fournier S, Kerneis S, Lescure F, Lucet J. Assessment of Air Contamination by SARS-CoV-2 in Hospital Settings. JAMA Netw Open. 2020;3(12):e2033232. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.33232
- Bolster DT, Linden PF. Contaminants in ventilated filling boxes. J Fluid Mech 2007:591:97–116.
- Booth TF, Kournikakis B, Bastien N, Ho J, Kobasa D, Stadnyk L et al. Detection of Airborne Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) Coronavirus and Environmental Contamination in SARS Outbreak Units. J Infect Dis 2005;191:1472-7.
- Brankston G, Gitterman L, Hirji Z, Lemieux C, Gardam M. Transmission of influenza A in human beings. Lancet Infect Dis 2007;7:257-65.
- Brickner PW, Vincent RL, First M, Nardell E, Murray M, Kaufman W. The application of ultraviolet germicidal irradiation to control transmission of airborne disease: Bioterrorism countermeasure. Public Health Rep 2003;118:99-114.



- Buchan AG, Yang L, Atkinson KD. Predicting airborne coronavirus inactivation by far-UVC in populated rooms using a high-fidelity coupled radiation-CFD model. Sci Rep 2020;10:19659.
- Buonanno M, Ponnaiya B, Welch D, Stanislauskas M, Randers-Pehrson G, Smilenov L et al. Germicidal efficacy and mammalian skin safety of 222-nm UV light. Radiat Res 2017;187:483–91.
- Buonanno M, Randers-Pehrson G, Bigelow AW, Trivedi S, Lowy FD, Spotnitz HM et al. 207-nm UV light-a promising tool for safe low-cost reduction of surgical site infections. I: in vitro studies. PLoS One 2013;8:76968.
- Buonanno M, Stanislauskas M, Ponnaiya B, Bigelow AW, Randers-Pehrson G, Xu Y et al. 207-nm UV light—a promising tool for safe low-cost reduction of surgical site infections. II: In-vivo safety studies. PloS one 2016;11.
- Buonanno M, Welch D, Shuryak I, Brenner DJ. Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. Sci Rep 2020;10:10285.
- Casanova LM, Jeon S, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces. Appl Environ Microbiol 2010;76:2712-7.
- CDC Centers for Disease Control and Prevention. Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in healthcare settings. Morbidity and Mortality Weekly Report 2005;54:1-141.
- CDC Centers for Disease Control and Prevention. Interim Infection Prevention and Control Recommendations for Healthcare Personnel During the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic. 2020.
 - Available at: https://www-cdc-gov.vdicp.health.fgov.be/coronavirus/2019-ncov/hcp/infection-control-recommendations.html
- CDC Centers for Disease Control and Prevention. NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health. Environmental Control for Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings. DHHS (NIOSH) Publication 2009;105.
- Chen W, Zhang N, Wei J, Yen HL, Li Y. Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact. Build Environ 2020;176:106859.
- Chen Y, Chen L, Deng Q, Zhang G, Wu K, Ni L et al. The presence of SARS-CoV-2 RNA in the feces of COVID-19 patients. J Med Virol 2020;92:833-40.
- CIE Commission Internationale de L'Eclairage. Ultraviolet air disinfection. CIE report 2003;155.
- Clapp PW, Sickbert-Bennett EE, Samet JM, Berntsen J, Zeman KL, Anderson DJ et al. Evaluation of Cloth Masks and Modified Procedure Masks as Personal Protective Equipment for the Public During the COVID-19 Pandemic. JAMA Intern Med 2020;10:208168.
- Correia G, Rodrigues L, Gameiro da Silva M, Gonçalves T. Airborne route and bad use of ventilation systems as non-negligible factors in SARS-VoV-2 transmission. Med Hypotheses 2020;141:109781.
- Cristiano L. Could ozone be an effective disinfection measure against the novel coronavirus (SARS-CoV-2)? J Prev Med Hyg 2020;61:301-3.
- CSS Conseil supérieur de la santé. Qualité de l'air intérieur en Belgique. Bruxelles: CSS; 2017. Avis n° 8794.
- CSS Conseil supérieur de la santé. Recommandations en matière de contrôles bactériologiques de l'environnement dans les institutions de soins. Bruxelles: CSS; 2010. Avis n° 8364.
- CSS Conseil supérieur de la santé. Recommandations pour la prévention des infections post-opératoires au sein du quartier opératoire. Bruxelles: CSS; 2013. Avis n° 8573.
- CSS Conseil supérieur de la santé. SARS-CoV-2 et l'utilisation de tunnels d'ozone pour « désinfecter » les charriots et les clients. Bruxelles: CSS; 2020. Avis n° 9593.



- CSS Conseil supérieur de la santé. UV-C pour la désinfection en milieu non hospitalier dans le cadre du Covid-19. Bruxelles: CSS; 2020. Avis n° 9594.
- CSTC Centre scientifique et technique de la construction. Guide pratique des systèmes de ventilation de base des logements. NIT 258; 2016.
- CSTC Centre scientifique et technique de la construction. Pandémie de COVID-19 : quid des installations techniques ? Les Dossiers du CSTC 2020;2:13.
- da Costa Filho BM, Silva GV, Boaventura RAR, Dias MM, Lopes JCB, Vilar VJP. Ozonation and ozone-enhanced photocatalysis for VOC removal from air streams: Process optimization, synergy and mechanism assessment. Sci Total Environ 2019;687:1357-68.
- Darnell ME, Subbarao K, Feinstone SM, Taylor DR. Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. J Virol Methods. 2004 Oct;121(1):85-91.
- Davies A, Thompson KA, Giri K, Kafatos G, Walker J, Bennett A. Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic? Disaster Med Public Health Prep 2013;7:413-8.
- De Cock M. Superverspreiding via aerosolen en het belang van ventilatie. 2020. Available from:
 - https://documentcloud.adobe.com/link/track?uri=urn:aaid:scds:US:be20eabc-c6ee-4c01-82a3-1f7444bc74b3
- de Wit E, van Doremalen N, Falzarano D, Munster VJ. SARS and MERS: recent insights into emerging coronaviruses. Nat Rev Microbiol 2016;14:523-34.
- Dexter F, Parra MC, Brown JR, Loftus RW. Perioperative COVID-19 Defense: An Evidence-Based Approach for Optimization of Infection Control and Operating Room Management. Anesth Analg 2020:10;1213.
 Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7172574/
- Dixon K. Air filtration and COVID-19: Indoor air quality expert explains how to keep you and your building safe. University of Toronto Engineering News; 2020.
- ECDC European Centre for Disease Prevention and Control. Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19: first update. 2020.
- ECDC European Centre for Disease Prevention and Control. Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19. Stockholm; 2020.
- El Pais. Un salon, un bar et une classe: ainsi se transmet le coronavirus dans l'air. 2020.
 - Availble from: https://elpais.com/ciencia/2020-11-02/un-salon-un-bar-et-une-classe-ainsi-se-transmet-le-coronavirus-dans-lair.html
- Emri G, Paragh G, Tósaki Á, Janka E, Kollár S, Hegedűs C et al. Ultraviolet radiation-mediated development of cutaneous melanoma: An update. J Photochem Photobiol B 2018;185:169-75.
- Escombe AR, Oeser CC, Gilman RH, Navincopa M, Ticona E, Pan W et al. Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. PLoS Med 2007;4:68.
- Fennelly KP. Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control. Lancet Respir Med. 2020 Sep;8(9):914-924.
- Filipić A, Gutierrez-Aguirre I, Primc G, Mozetič M, Dobnik D. Cold Plasma, a New Hope in the Field of Virus Inactivation. Trends Biotechnol 2020;38:1278-91.
- Fowle JR, Sexton K. EPA priorities for biologic markers research in environmental health. Environ Health Perspect 1992;98:235-41.
- Gerchman Y, Mamane H, Friedman N, Mandelboim M. UV-LED disinfection of Coronavirus: Wavelength effect. J Photochem Photobiol B. 2020 Nov;212:112044.
- Habibi-Yangjeh A, Asadzadeh-Khaneghah S, Feizpoor S, Rouhi A. Review on heterogeneous photocatalytic disinfection of waterborne, airborne, and foodborne viruses: Can we win against pathogenic viruses? J Colloid Interface Sci 2020;580:503-14.



- Hadi J, Dunowska M, Wu S, Brightwell G. Control Measures for SARS-CoV-2: A Review on Light-Based Inactivation of Single-Stranded RNA Viruses. Pathogens 2020;9:737.
- Hamner L, Dubbel P, Capron I, et al. High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice Skagit County, Washington, March 2020. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 2020;69:606–610. DOI: http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6919e6external.icon
- HCSP Haut conseil de la santé publique. Avis relatif à la réduction du risque de transmission du SARS-CoV-2 par la ventilation et à la gestion des effluents des patients COVID-19. 2020.

Available from:

https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20200317_cosacord durililaveetgedeef.pdf

- HCSP Haut conseil de la santé publique. Avis relatif à l'utilisation des appareils de chauffage dans le contexte de l'épidémie de Covid-19. 2020.
 Available from: https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20201014_cosacocharveprhidebt.pdf
- HCSP Haut conseil de la santé publique. Avis relatif au risque résiduel de transmission du SARS-CoV-2 sous forme d'aérosol, en milieu de soin, dans les autres environnements intérieurs, ainsi que dans l'environnement extérieur. 2020.
 Available from: https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20200408 corsarcov

risdetraduvirsoufordaro.pdf

- Heilingloh CS, Aufderhorst UW, Schipper L, Dittmer U, Witzke O, Yang D, Zheng X, Sutter K, Trilling M, Alt M, Steinmann E, Krawczyk A. Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. Am J Infect Control. 2020 Oct;48(10):1273-1275.
- Hendrix MJ, Walde C, Findley K, Trotman R. Absence of Apparent Transmission of SARS-CoV-2 from Two Stylists After Exposure at a Hair Salon with a Universal Face Covering Policy - Springfield, Missouri, May 2020. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 2020:69:930-2.
- Heßling M, Hönes K, Vatter P, Lingenfelder C. Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation - review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. GMS Hyg Infect Control 2020;15:08.
- Heyder J, Gebhart J, Rudolf G, Schiller CF, Stahlhofen W. Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005–15 μm. J Aerosol Sci 1986;17:811– 25
- Hinds WC. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. Wiley; 1999.
- Hindson J. COVID-19: faecal-oral transmission? Nat Rev Gastroenterol Hepatol 2020;17:259.
- Hohmann-Jeddi C. Dry air promotes infections. PZ Pharmazeutische Zeitung; 2019. Available from: https://www.pharmazeutische-zeitung.de/trockene-luft-foerdert-infektionen/
- Horstmann G, Iravani J, Norris Melville G, Richter HG. Influence of temperature and decreased water content of inspired air on the ciliated bronchial epithelium. A physiological and electron microscopical study. Acta Otolaryngol 1977;84:124-31.
- Huang C, Ma W, Stack S. The Hygienic Efficacy of Different Hand-Drying Methods: A Review of the Evidence. Mayo Clin Proc 2012;87:791-8.
- Huesca-Espitia LDC, Aslanzadeh J, Feinn R, Joseph G, Murray TS, Setlow P. Deposition of Bacteria and Bacterial Spores by Bathroom Hot-Air Hand Dryers. Appl Environ Microbiol 2018;84:00044-18.
- Humayun T, Qureshi A, Al Roweily SF, Carig J, Humayun F. Efficacy Of Hydrogen Peroxide Fumigation In Improving Disinfection Of Hospital Rooms And Reducing The Number Of Microorganisms. J Ayub Med Coll Abbottabad. 2019 Oct-Dec;31(Suppl 1)



- ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Phys 2004;87:171-86.
- Jayaweera M, Perera H, Gunawardana B, Manatunge J. Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. Environ Res 2020;188:109819.
- Jimenez JL. COVID-19 Data Dives: Why Arguments Against SARS-CoV-2 Aerosol Transmission Don't Hold Water. Medscape; 2020.
 Available from: http://www.medscape.com/viewarticle/934837
- Johnson GR, Morawska L, Ristovski ZD, Hargreaves M, Mengersen K, Chao CYH et al. Modality of human expired aerosol size distributions. J Aerosol Sci 2011;42:839–51.
- Jones RM, Brosseau LM. Aerosol transmission of infectious disease. J Occup Environ Med 2015;57:501–8.
- Kähler C, Fuchs T, Hain R. Can mobile indoor air cleaners effectively reduce an indirect risk of SARS-CoV-2 infection by aerosols? 2020.
 Available from: https://www.researchgate.net/publication/343514409 Can mobile indoor air cleaners effectively reduce an indirect risk of SARS-CoV-2 infection by aerosols
- Kilgour E, Rankin N, Ryan S, Pack R. Mucociliary function deteriorates in the clinical range of inspired air temperature and humidity. Intensive Care Med 2004;30:1491-4.
- Kowalski WJ, Walsh TJ, Petraitis V. 2020 COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility. 2020.
- Laussmann D, Helm D. Air Change Measurements Using Tracer Gases: Methods and Results. Significance of air change for indoor air quality. 2011.
 Available from: <a href="https://www.intechopen.com/books/chemistry-emission-control-radioactive-pollution-and-indoor-air-quality/air-change-measurements-using-tracer-gases-methods-and-results-significance-of-air-change-for-indoor
- Lednicky JA, Lauzardo M, Fan ZH, Jutla A, Tilly TB, Gangwar M et al. Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. Int J Infect Dis 2020:100:476–82.
- Leprince V. Similarities and differences between REHVA's & ASHRAE's guidance.
 AVIC Webinar; 2020.
 Available from: https://www.aivc.org/system/files/AIVC-Nov20_Leprince.pdf
- Linden PF, Lane-Serff GF, Smeed DA. Emptying filling boxes: the fluid mechanics of natural ventilation. J Fluid Mech 1990;212:309–35.
- Linden PF, Simpson JE. Buoyancy-driven flow through an open door. Air Infiltration Review 1985;6:4-5.
- Liu Y, Ning Z, Chen Y, Guo M, Liu Y, Gali NK et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. Nature 2020;582:557-60.
- Lopman B, Gastañaduy P, Park GW, Hall AJ, Parashar UD, Vinjé J. Environmental transmission of norovirus gastroenteritis. Curr Opin Virol 2012;2:96–102.
- Lu J, Gu J, Li K, Xu C, Su W, Lai Z et al. COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020. Emerg Infect Dis 2020;26:1628-31.
- Ludwig-Begall LF, Wielick C, Dams L, Nauwynck H, Demeuldre PF, Napp A et al. The
 use of germicidal ultraviolet light, vaporised hydrogen peroxide and dry heat to
 decontaminate face masks and filtering respirators contaminated with a SARS-CoV-2
 surrogate virus. J Hosp Inf 2020;106:577-84.
- Mancebo SE, Wang SQ. Skin cancer: role of ultraviolet radiation in carcinogenesis. Rev Environ Health 2014;29:265-73.
- Manjunath SN, Sakar M, Katapadi M, Balakrishna RG. Recent case studies on the use of ozone to combat coronavirus: Problems and perspectives. Environ Technol Innov 2021;21:101313.



- METIZ. Kan CO2 meten COVID19 besmetting voorkomen? 7/6/2020. Available from: https://metiz.be/onewebmedia/METIZ_Whitepaper%208_CO2%20meten%20om%20 COVID19%20besmetting%20te%20voorkomen.pdf
- Meyerowitz EA, Richterman A, Gandi RT, Sax PE. Transmission of SARS-CoV-2: A Review of Viral, Host, and Environmental Factors. Ann Intern Med 2020;M20-5008.
- Mohan SV, Hemalatha M, Kopperi H, Ranjith I, Kumar AK. SARS-CoV-2 in environmental perspective: Occurrence, persistence, surveillance, inactivation and challenges. Chem Eng J 2021;405:126893.
- Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, Hargreaves M, Mengersen K, Corbett S et al. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. J Aerosol Sci 2009;40:256–69.
- Morawska L, Milton DK. It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). Clin Infect Dis 2020;71:2311-3.
- Moreno T, Pintó RM, Bosch A, Moreno N, Alastuey A, Minguillón MC et al. Tracing surface and airborne SARS-CoV-2 RNA inside public buses and subway trains. Environ Int 2020;147:106326.
- Murata T, Komoto S, Iwahori S, Sasaki J, Nishitsuji H, Hasebe T et al. Reduction of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 infectivity by admissible concentration of ozone gas and water. Microbiol Immunol 2020;10:1348-421.
- Mutters R, Warnes SL. The method used to dry washed hands affects the number and type of transient and residential bacteria remaining on the skin. J Hosp Infect 2019;101:408-13.
- Nicas M, Nazaroff WW, Hubbard A. Toward Understanding the Risk of Secondary Airborne Infection: Emission of Respirable Pathogens. J Occup Environ Hyg 2005:2:143-54.
- Noorimotlagh Z, Mirzaee SA, Jaafarzadeh N, Maleki M, Kalvandi G, Karami C. A systematic review of emerging human coronavirus (SARS-CoV-2) outbreak: focus on disinfection methods, environmental survival, and control and prevention strategies. Environ Sci Pollut Res Int 2021;28:1–15.
- Qiao Y, Yang M, Marabella IA, McGee DAJ, Aboubakr H, Goyal S et al. Greater than 3-Log Reduction in Viable Coronavirus Aerosol Concentration in Ducted Ultraviolet-C (UV-C) Systems. Environ Sci Technol 2020.
- Raeiszadeh M, Adeli B. A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations. ACS Photonics 2020.
- REHVA Federation of European Heating, Ventilation and Conditioning Associations.
 REHVA COVID-19 guidance document: How to operate and use building services in order to prevent the spread of the coronavirus disease (COVID-19) virus (SARS-CoV-2) in workplaces. 2020.
- Richardson ET, Morrow CD, Kalil DB, Bekker LG, Wood R. Shared Air: A Renewed Focus on Ventilation for the Prevention of Tuberculosis Transmission. PLoS One 2014;9:96334.
- Riley RL, Mills CC, O'Grady F, Sultan LU, Wittstadt F, Shivpuri DN. Infectiousness of air from a tuberculosis ward. Ultraviolet irradiation of infected air: comparative infectiousness of different patients. Am Rev Respir Dis 1962;85:511-25.
- Rissler J, Gudmundsson A, Nicklasson H, Swietlicki E, Wollmer P, Löndahl J. Deposition efficiency of inhaled particles (15-5000 nm) related to breathing pattern and lung function: an experimental study in healthy children and adults. Part Fibre Toxicol 2017;14:10.
- RMG Risk Management Group. Maitrise des infections à SARS-CoV-2 pour la pratique dentaire. Version du 20/05/2020.
 Available from: https://covid-19.sciensano.be/sites/default/files/Covid19/COVID19_procedure_dentists_FR.pdf.
- RMG Risk Management Group. Conseils d'hygiène au patient en isolement à la maison. Version du 25 janvier 2021.



Available from: https://covid-19.sciensano.be/sites/default/files/Covid19/COVID-19_procedure_hygiene_case%20%26houshold_FR.pdf

- Royaume de Belgique. Code du bien-être au travail.
- Rudnick, SN, Milton DK. Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. Indoor Air 2003;13:237–45.
- Santarpia JL, Herrera VL, Rivera DN, Ratnesar-Shumate S, Reid SP, Denton PW et al. The Infectious Nature of Patient-Generated SARS-CoV-2 Aerosol. 2020.
- Santarpia JL, Rivera DN, Herrera V, Morwitzer MJ, Creager H, Santarpia GW, et al. Transmission Potential of SARS-CoV-2 in Viral Shedding Observed at the University of Nebraska Medical Center. 2020.
- SCHEER Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks.
 Opinion on Biological effects of UV-C radiation relevant to health with particular reference to UVC lamps. 2017.
- Sciensano. Fact sheet version 7 du 24/12/2020.

 Available from: https://covid-19.sciensano.be/sites/default/files/Covid19/COVID-19_fact_sheet_ENG.pdf
- Shen Y, Li C, Dong H, Wang Z, Martinez L, Sun Z et al. Community Outbreak Investigation of SARS-CoV-2 Transmission Among Bus Riders in Eastern China. JAMA Intern Med 2020;180:1665-71.
- Sills RC, Boorman GA, Neal JE, Hong HL, Devereux TR. Mutations in ras genes in experimental tumours of rodents. IARC Sci Publ 1999;146:55-86.
- Sills RC, Hong HL, Greenwell A, Herbert RA, Boorman GA, Devereux TR. Increased frequency of K-ras mutations in lung neoplasms from female B6C3F1 mice exposed to ozone for 24 or 30 months. Carcinogenesis 1995;16:1623-8.
- Smither SJ, Eastaugh LS, Findlay JS, Lever MS. Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity. Emerg Microbes Infect 2020;9:1415-7.
- Snelling AM, Saville T, Stevens D, Beggs CB. Comparative evaluation of the hygienic efficacy of an ultra-rapid hand dryer vs conventional warm air hand dryers. J Appl Microbiol 2011:110:19-26.
- Suen LKP, Lung VYT, Boost MV, Au-Yeung CH, Siu GKH. Microbiological evaluation of different hand drying methods for removing bacteria from washed hands. Sci Rep 2019;9:13754.
- Sun C, Zhai Z. The efficacy of social distance and ventilation effectiveness in preventing COVID-19 transmission. Sustain Cities Soc 2020;62:102390.
- Tang S, Mao Y, Jones RM, Tan Q, Ji JS, Li N et al. Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. Environ Int 2020;144:106039.
- Tapp C, Rice RG. Generation and Control of Ozone. In Ozone in Food Processing. 2012.
- Taylor S. Why the fight against COVID-19 must include indoor air humidity. Building; 2020.
 - Available from: https://building.ca/feature/why-the-fight-against-covid-19-must-include-indoor-air-humidity/
- Tellier R. Review of aerosol transmission of influenza A virus. Emerg Infect Dis 2006;12:1657–62.
- Tian Y, Rong L, Nian W, He Y. Review Article: Gastrointestinal Features in COVID-19 and the Possibility of Faecal Transmission. Aliment Pharmacol Ther 2020;51:843-51.
- Van Bavel JJ, Baicker K, Boggio PS, Capraro V, Cichocka A, Cikara M et al. Using social and behavioural science to support COVID-19 pandemic response. Nat Hum Behav 2020;4:460-71.
- van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. N Engl J Med 2020;382:1564–7.
- Van Herreweghe J, Caillou S, Haerinck T, Van Dessel J. Real-life ventilation filter performance in a city environment. REHVA Journal; 2020.



- Available from: https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/real-life-ventilation-filter-performance-in-a-city-environment
- Wang W, Xu Y, Gao R, Lu R, Han K, Wu G et al. Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens. JAMA 2020;323:1843-4.
- Welch D, Buonanno M, Grilj V, Shuryak I, Crickmore C, Bigelow AW et al. Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. Sci Rep 2018;8:2752.
 - Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5807439/
- WHO World Health Organization. Clinical management of severe acute respiratory infection (SARI) when COVID-19 disease is suspected: interim guidance, 13 March 2020.
 - Available from: https://apps.who.int/iris/handle/10665/331446
- WHO World Health Organization. Mask use in the context of COVID-19: interim guidance, 1 December 2020.
 Available from: https://apps.who.int/iris/handle/10665/337199
 - WHO World Health Organization. Non-pharmaceutical public health measures for mitigating the risk and impact of epidemic and pandemic influenza. 2019.
- Wielick C, Ludwig-Begall LF, Dams L, Razafimahefa RM, Demeuldre PF, Napp A et al. The use of germicidal ultraviolet light, vaporised hydrogen peroxide and dry heat to decontaminate face masks and filtering respirators contaminated with an infectious norovirus. Infect Prev Practice 2021;3:100111.
- Wölfel R, Corman VM, Guggemos W, Seilmaier M, Zange S, Müller MA et al. Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. Nature 2020;581:465-9.
- Woods JA, Evans A, Forbes PD, Coates PJ, Gardner J, Valentine RM et al. The effect of 222 nm UVC phototesting on healthy volunteer skin: a pilot study. Photodermatol Photoimmunol Photomed 2015;31:159-66.
- Xia T, Kleinheksel A, Lee EM, Qiao Z, Wigginton KR, Clack HL. Inactivation of airborne viruses using a packed bed non-thermal plasma reactor. J Phys D Appl Phys 2019;52:255201.
- Xiao S, Li Y, Sung M, Wei J, Yang Z. A study of the probable transmission routes of MERS-CoV during the first hospital outbreak in the Republic of Korea. Indoor Air 2018:28:51–63.
- Xie X, Li Y, Chwang ATY, Ho PL, Seto WH. How far droplets can move in indoor environments -- revisiting the Wells evaporation-falling curve. Indoor Air 2007;17:211–25.
- Yan J, Grantham M, Pantelic J, Bueno de Mesquita J, Albert B, Liu F et al. Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community. PNAS 2018;115:1081–6.
- Yu ITS, Li Y, Wong TW, Tam W, Chan AT, Lee JHW et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. N Engl J Med 2004;350:1731-9.
- Zhao L, Qi Y, Luzzatto-Fegiz P, Cui Y, Zhu Y. COVID-19: Effects of Environmental Conditions on the Propagation of Respiratory Droplets. Nano Lett 2020;20:7744-50.



VI COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

La composition du Bureau et du Collège ainsi que la liste des experts nommés par arrêté royal se trouvent sur le site internet du CSS (page : Qui sommes-nous).

Tous les experts ont participé à *titre personnel* au groupe de travail. Leurs déclarations générales d'intérêts ainsi que celles des membres du Bureau et du Collège sont consultables sur le site internet du CSS (page : <u>Conflits d'intérêts</u>).

Les experts suivants ont participé à l'élaboration et à l'approbation de l'avis. Le groupe de travail a été présidé par **Nicolas VAN LAREBEKE-ARSCHODT** et le secrétariat scientifique a été assuré par Sandrine EVERAERT et Evelyn HANTSON.

ABLORH Raina	Hygiène hospitalière	UZ Gent	
BADOT Pierre Yves	HVAC & Physique du Bâtiment	Régie des Bâtiments	
CAILLOU Samuel	Chauffage et ventilation	CSTC	
CORNELISSEN Laura	Epidémiologie	Sciensano	
DEBASTE Frédéric	Chimie, génie des procédés, polluants intérieurs	ULB	
EGGERMONT Gilbert	Radioprotection et environnement	ex-VUB	
GERARD Michèle	Infectiologie, Hygiène hospitalière	CHU Saint-Pierre	
MASCART Georges	Microbiologie, hygiène hospitalière	CHU Brugmann	
PARENTE Alessandro	Chimie, mécanique des fluides, dispersion polluants	ULB	
THIRY Etienne	Virologie animale	Uliège	
VAN DINGENEN Rita	Physique des aérosols	European Commission JRC	
VAN GAEVER Romy	Chauffage et ventilation	CSTC	
VAN HERREWEGHE Joris	Filtration, Microbiologie et microparticules	CSTC	
VAN LAREBEKE- ARSCHODT Nicolas	Toxicologie, carcinogenèse et prévention primaire du cancer	ex-UGent	

L'expert suivant a été consulté mais n'a pas participé à l'approbation de l'avis.

DEROM Eric Pneumologie UZ Gent



Au sujet du Conseil supérieur de la santé (CSS)

Le Conseil supérieur de la santé est un organe d'avis fédéral dont le secrétariat est assuré par le Service fédéral santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement. Il a été fondé en 1849 et rend des avis scientifiques relatifs à la santé publique aux ministres de la Santé publique et de l'environnement, à leurs administrations et à quelques agences. Ces avis sont émis sur demande ou d'initiative. Le CSS s'efforce d'indiquer aux décideurs politiques la voie à suivre en matière de santé publique sur base des connaissances scientifiques les plus récentes.

Outre son secrétariat interne composé d'environ 20 collaborateurs, le Conseil fait appel à un large réseau de plus de 500 experts (professeurs d'université, collaborateurs d'institutions scientifiques, acteurs de terrain, etc.), parmi lesquels 300 sont nommés par arrêté royal au titre d'expert du Conseil. Les experts se réunissent au sein de groupes de travail pluridisciplinaires afin d'élaborer les avis.

En tant qu'organe officiel, le Conseil supérieur de la santé estime fondamental de garantir la neutralité et l'impartialité des avis scientifiques qu'il délivre. A cette fin, il s'est doté d'une structure, de règles et de procédures permettant de répondre efficacement à ces besoins et ce, à chaque étape du cheminement des avis. Les étapes clé dans cette matière sont l'analyse préalable de la demande, la désignation des experts au sein des groupes de travail, l'application d'un système de gestion des conflits d'intérêts potentiels (reposant sur des déclarations d'intérêt, un examen des conflits possibles, et une Commission de déontologie) et la validation finale des avis par le Collège (organe décisionnel du CSS, constitué de 30 membres issus du pool des experts nommés). Cet ensemble cohérent doit permettre la délivrance d'avis basés sur l'expertise scientifique la plus pointue disponible et ce, dans la plus grande impartialité possible.

Après validation par le Collège, les avis sont transmis au requérant et au ministre de la Santé publique et sont rendus publics sur le site internet (<u>www.hgr-css.be</u>). Un certain nombre d'entre eux sont en outre communiqués à la presse et aux groupes cibles concernés (professionnels du secteur des soins de santé, universités, monde politique, associations de consommateurs, etc.).

Si vous souhaitez rester informé des activités et publications du CSS, vous pouvez envoyer un mail à l'adresse suivante : <u>info.hqr-css@health.belgium.be</u>.







Cette publication ne peut être vendue.

