

Lutter contre le coronavirus par la ventilation des locaux : principes et aspects concrets

Sur la base de références nationales, européennes et internationales dans le domaine de la santé et des techniques climatiques

Réalisé par le groupe Aération/ventilation du collectif Du côté de la science



#DuCoteDeLaScience - @Cote_Science - www.ducotedelascience.org

SOMMAIRE

I. Données générales.....	3
II. En absence de ventilation simple ou double flux sans recyclage, comment assurer un renouvellement et un suivi de la qualité de l'air dans les locaux scolaires et professionnels ?.....	5
L'aération	5
Les purificateurs d'air.....	8
Les détecteurs de CO ₂	10
III. Informations complémentaires sur la base du document de référence du REHVA relatif à la COVID-19 (version du 3 août 2020)	12
Chauffage, ventilation et air conditionné dans un contexte pandémique COVID-19	14
Recommandations pour la réduction des risques d'infection dans les bâtiments au cours de la pandémie	15
Mesures pratiques à destination des services techniques et d'entretien.....	16
IV. Ressources documentaires	17

Les modes de transmission du coronavirus SARS-CoV-2, l'agent de la COVID-19 sont multiples ; ils incluent le manuportage, les postillons et **surtout les aérosols**. Si les masques sont un moyen de prévention efficace ils doivent cependant être associés à **une excellente ventilation des locaux** ; notamment pour les personnes devant travailler ou étudier dans un espace clos, entourées de nombreux collègues ou étudiants, pendant plusieurs heures d'affilée. L'objectif du présent document est de fournir et de résumer certaines ressources documentaires concrètes abordant la question cruciale de la ventilation dans les locaux rassemblant de nombreuses personnes, parmi lesquels les établissements d'enseignement ou d'éveil (écoles, collèges, lycées, universités, crèches), les entreprises du secteur tertiaire recevant ou non du public, les administrations...¹

I. Données générales

L'avis du Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) du 28 août 2020, publié le 30 septembre 2020, *relatif à des adaptations possibles s'agissant de la recommandation du port de masque en milieu de travail dans les lieux collectifs clos*, complète avec des indications très pratiques les recommandations du 23 août concernant les établissements recevant du public (ERP) et les grands rassemblements sportifs et culturels. Il est accessible à la page <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=919>².

Ce document décrit des mesures de ventilation systématique des locaux mais également l'entretien des systèmes (on y reviendra avec les recommandations du REHVA). L'idée directrice est d'avoir un renouvellement de l'air permanent avec des débits minimaux (m³/h) dans les locaux, conformément aux dispositions du code du travail³ ou du règlement sanitaire départemental (RSD)⁴ qui fixent les normes applicables aux différents locaux.

À titre d'exemple :

- pour un bureau ou local d'accueil ce débit minimal est de 25m³/h par occupant
- pour les locaux d'enseignement il est de 15m³/h par personne dans les écoles
- 18m³/h par personne dans les lycées et universités
- 22 m³/h par personne dans les lieux type restauration/cantine⁵.

Ainsi, pour une classe de 28 élèves, 1 instituteur/institutrice, 1 assistant·e maternel·le, le renouvellement doit être de 450 m³/h (15 m³/h multiplié par 30).

Pour mémoire, les articles L.221-8 et R.221-30 et suivants du code de l'environnement définissent des obligations de mesurer périodiquement la qualité de l'air intérieur des bâtiments recevant du public et en particulier ceux accueillant des mineurs comme les crèches, les écoles,

¹ Les lieux d'habitation et locaux utilisés dans la sphère privée peuvent également bénéficier des apports de cette note dès lors qu'ils rassemblent plusieurs personnes de foyers différents en un même lieu et sur une certaine durée. La définition d'un « établissement recevant du public » (ERP) et les mesures sanitaires réglementaires relatives à la Covid-19 qui y sont applicables sont accessibles à la page <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F32351> [consultée le 5 octobre 2020, comme l'ensemble des références de ce document].

² L'ensemble des avis du HCSP relatifs au Coronavirus SARS-CoV-2 est référencé à la page <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/PointSur?clef=2>.

³ Voir par exemple <http://www.ventilation-industrie.fr/le-code-du-travail>.

⁴ Voir par exemple <http://www.ventilation-industrie.fr/le-reglement-sanitaire-departemental-type-rsdt> ou <https://pro.aldes.fr/media/7614/rsdt.pdf>. Plus généralement, sur le RSD : <https://www.auvergne-rhone-alpes.ars.sante.fr/system/files/2017-08/RSD%20du%20Rh%C3%B4ne.pdf>. Voir aussi <https://www.oise.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement/L-eau-et-les-milieus-aquatiques/Reglementation-et-procedures/Le-reglement-sanitaire-departemental-RSD>.

⁵ <https://pro.aldes.fr/media/7614/rsdt.pdf> (page 26, art. 64).

établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du premier et du second degré. Le décret n° 2015-1000 du 17 août 2015 a fixé les échéances suivantes :

- 1er janvier 2018 pour les écoles maternelles, élémentaires et crèches
- 1er janvier 2020 pour les accueils de loisirs et les établissements d'enseignement du second degré
- 1er janvier 2023 pour les autres établissements⁶.

Le degré de respect de ces échéances n'est pas connu. Début 2019, l'INERIS (Institut national de l'environnement et des risques), chargé de gérer la base de données « Surveillance air intérieur », a publié la synthèse des données collectées dans environ 1000 structures concernées⁷.

Comme nous le verrons plus bas un bon système d'aération permet d'éviter la stagnation des aérosols et leur élimination.

La ventilation des locaux est nécessaire et peut aider à lutter contre l'aérosolisation du virus sous réserve de respecter les normes et les bonnes approches.

La plupart des bâtiments scolaires, et certains autres établissements recevant du public (administrations, entreprises...) ne répondent pas aux normes sur la qualité de l'air : ils ont souvent été construits avant la mise en place des normes et l'installation de systèmes de ventilation, et ne disposent que de système de ventilation manuelle (ouverture des fenêtres) dont les capacités aératoires ont été ensuite restreintes par les règles visant à réduire les risques d'accident ou de suicide par défenestration. Même les établissements les plus récents disposant d'un système mécanique de ventilation n'ont pas nécessairement de VMC à simple ou mieux double flux (sans recyclage d'air) alors que ce dispositif est considéré comme « souhaitable » par l'ADEME « afin d'éviter le confinement de l'air et l'accumulation de polluants »⁸ ; il représente donc une vraie solution de ventilation face au risque d'aérosolisation.

Si on considère le prix et le temps d'installation de tels systèmes on comprend le retard de mise en place dans les écoles et locaux professionnels qui en sont encore dépourvus, mais également l'impossibilité d'assurer un air issu d'une telle VMC pour l'hiver 2020/2021 sur l'ensemble des lieux accueillant du public.

⁶ Cf. <https://www.ecologie.gouv.fr/qualite-lair-interieur>.

⁷ Cf. <https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/qualite-air-ecoles-plus-18-000-donnees-deja-transmises-ineris>.

Comme l'indique l'INERIS, « sur l'ensemble des résultats disponibles, 0,2% des mesures relatives au formaldéhyde et 0,2% des mesures relatives au benzène dépassent les concentrations limites, 5,8% des mesures relatives au dioxyde de carbone dépassent la valeur limite, traduction d'un déficit de renouvellement d'air. Pour le perchloroéthylène, les concentrations mesurées sont toujours bien en deçà de la valeur limite. »

⁸ Cf. le Guide Ecol'Air de l'Ademe (Agence de la transition écologique, anciennement Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), publié en 2018 : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ecolair-2018-010490.pdf>.

II. En absence de ventilation simple ou double flux sans recyclage, comment assurer un renouvellement et un suivi de la qualité de l'air dans les locaux scolaires et professionnels ?

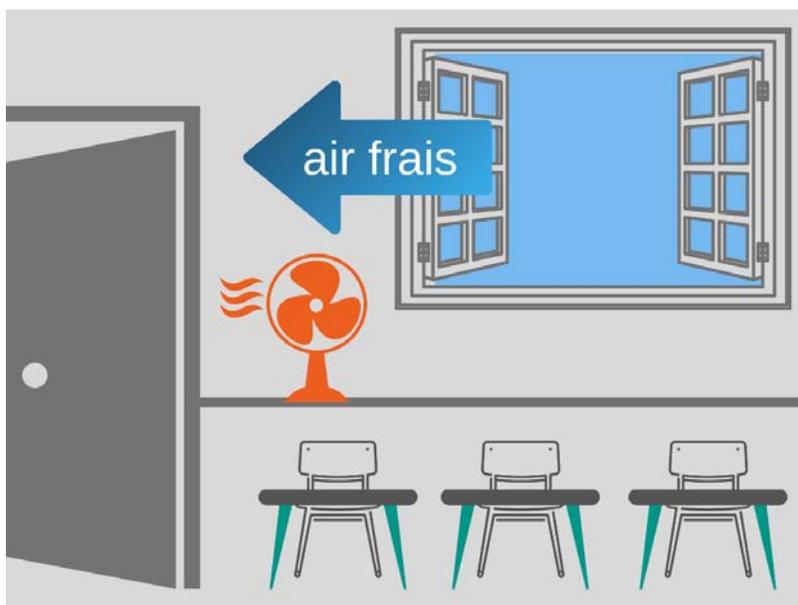
L'aération

On recommande la lecture de cet article : <https://theconversation.com/how-to-use-ventilation-and-air-filtration-to-prevent-the-spread-of-coronavirus-indoors-143732>. Shelly Miller y rappelle que la grande majorité des cas de transmission du virus ont lieu en intérieur (dans des lieux clos), et dans la plupart des cas par l'inhalation d'aérosols contenant des particules virales.

Pour elle, la meilleure façon d'empêcher le virus de se propager dans une salle, une école ou une entreprise « *serait simplement d'éloigner les personnes infectées* ». Mais cela serait possible si toutes les personnes infectées étaient symptomatiques ; or 40% des cas sont asymptomatiques⁹ et en particulier les enfants. Si le masque est capable de bloquer les aérosols contaminés (efficacité de 50-98% en fonction du type de masque¹⁰), dans un lieu clos et en présence de nombreuses personnes, un cas contagieux même masqué émettra une faible quantité d'aérosol contaminant.

Une fois que le virus s'échappe dans l'air à l'intérieur d'un bâtiment, il existe deux options pour le « neutraliser » :

- Apporter de l'air frais de l'extérieur
- Éliminer le virus de l'air à l'intérieur du bâtiment.



Source : @Cote_Science

⁹ Source : Can people spread the coronavirus if they don't have symptoms? - <http://theconversation.com/can-people-spread-the-coronavirus-if-they-dont-have-symptoms-5-questions-answered-about-asymptomatic-covid-19-140531>.

¹⁰ Source : <http://www.omedit-idf.fr/wp-content/uploads/2020/04/OMEDIT-CRMRV-IDF-masques-et-COVID19-VF2bis.pdf>.

Cela va nous permettre d'introduire la notion de **taux de remplacement ou renouvellement de l'air dans une pièce par heure** (TRH ou ACH – Air Change per Hour). Ainsi en intérieur, plus l'arrivée d'air frais venant du dehors sera importante et plus les conditions seront sûres, même dans un espace clos. Le TRH recommandé dépend évidemment de la taille (du volume) de la pièce et du nombre de personnes présentes. Pour une pièce de 3 mètres par 3 dans laquelle se trouvent 3 à 4 personnes, on estime que la qualité de l'air est satisfaisante à partir de 6 TRH, soit un renouvellement de l'air six fois par heure. Dans les conditions spécifiques de pandémie ou de risque potentiel d'aérosolisation ce taux doit être augmenté. Les systèmes de ventilation mécaniques à renouvellement d'air (sans recyclage), bien réglés, assurent automatiquement la meilleure qualité possible de l'air.

En l'absence de système de ventilation mécanique, ou si celui-ci n'est pas capable d'effectuer un renouvellement suffisamment fréquent de l'air intérieur il conviendra de trouver des solutions utilisant uniquement des systèmes de ventilation mobile ou/et des purificateurs d'air. La vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=59tQeL0ehbM> de NHK World-Japan illustre des installations qui permettent dans le cas d'une ou de deux ouvertures dans une pièce de pouvoir mettre en place un flux de renouvellement de l'air, à partir d'une arrivée d'air extérieur.

Quand la météo le permet, garder les fenêtres et portes ouvertes génère une circulation d'air qui évacue les aérosols ; l'idée étant de créer un courant traversant de manière à renouveler l'air, selon les différents cas de figure :

- Possibilité de deux ouvertures en diagonale d'une pièce : l'ajout d'un ventilateur dirigé vers l'extérieur permet de contrôler le sens du flux, appelant mécaniquement l'air frais de l'extérieur vers l'intérieur par l'autre ouverture ;
- Possibilité de deux ouvertures sur un même pan de mur : placer un ventilateur devant la fenêtre en prise d'air et mettre un autre ventilateur en inverse devant une autre fenêtre ;
- Dans le cas où les fenêtres sont scellées et en l'absence de VMC ou d'ouverture en dehors de la porte d'entrée de la salle, il faut mettre en place le système décrit dans la vidéo mentionnée ci-dessus.

Pour conclure et illustrer l'importance que revêt la qualité de l'air dans les lieux clos, l'Allemagne a adopté une recommandation d'aération pour les salles de cours, et de manière systématique : **5 minutes d'aération toutes les 20 minutes**¹¹.

Un outil simple disponible sur internet permet de déterminer, à partir du volume et des conditions d'aération d'une salle, de la nature de l'activité qui s'y tient, du niveau de protection individuelle de ses occupants et du risque de contamination accepté, les seuils de « sécurité » en termes de durée d'occupation selon le nombre de personnes présentes : il est accessible à la page <https://indoor-covid-safety.herokuapp.com/> (en anglais).

On peut ainsi déterminer, par exemple, l'impact des conditions d'aération et du port du masque dans une salle de 56 m² (600 pieds carrés), haute de 2m70, sans ventilation mécanique, accueillant 25 personnes¹² pour un cours magistral :

Sans masques, fenêtres fermées, la salle est considérée comme sûre pour 22 minutes¹³ ; en ouvrant les fenêtres (2 THR), sans masque : 28 minutes ; fenêtres fermées, en portant un masque chirurgical : 1 heure ; avec le masque et en ouvrant les fenêtres : 3 heures.

¹¹ <https://www.tagesschau.de/inland/lueften-corona-101.html>

¹² Le respect d'une distance physique de 2 mètres conduirait à n'accepter que 16 personnes dans cette salle.

¹³ En acceptant un risque de 10 %.

Copies d'écran annotées de cette application :

<https://www.csl.cmu.edu/~www/covid-19/>
<https://github.com/kawesomkhan/covid-indoor>

specification de la salle

About Room Specifications Human Behavior Frequently Asked Questions

Room Specifications

Floor Area (sq. ft.): 600 - 50 m2 de surface

Ceiling Height (ft.): 8.85 - 2.7 m de hauteur

Ventilation System: 2 ACH

Open windows: fenetres ouvertes

Filtration System: MERV 0

None: aucune VMC

Recirculation Rate: 0 recirculation ACH

None: pas de recirculation d'air

Need more control over your inputs? Check out Advanced Mode by clicking the button at the bottom of the page.

Current room: Custom

Based on this model, it should be safe* for this room to have:

- 2 people for 7 hours,
- 3 people for 3 hours,
- 4 people for 2 hours,
- 5 people for 2 hours,
- 10 people for 1 hour,
- 25 people for 28 minutes,**
- 50 people for 17 minutes, or
- 100 people for 11 minutes.



In comparison, current six feet distancing guidelines recommend no more than 16 people in this room.

*based on airborne transmission only (what is airborne transmission?)

<https://www.csl.cmu.edu/~www/covid-19/>
<https://github.com/kawesomkhan/covid-indoor>

comportement humain

About Room Specifications Human Behavior Frequently Asked Questions

Human Behavior

Exertion Level: Resting - cours assis

Expiratory Activity: Speaking (quiet speech) - cours magistral

Mask Type: None (0% filtration) - aucun masque

Mask Fit/Compliance: 80%

Risk Tolerance: 0.10

A higher risk tolerance will mean more expected transmissions during the expected occupancy period (see FAQ for details). More vulnerable populations such as the elderly or those with preexisting medical conditions will generally require a lower risk tolerance.

Current room: Custom

Based on this model, it should be safe* for this room to have:

- 2 people for 7 hours,
- 3 people for 3 hours,
- 4 people for 2 hours,
- 5 people for 2 hours,
- 10 people for 1 hour,
- 25 people for 28 minutes,**
- 50 people for 17 minutes, or
- 100 people for 11 minutes.



In comparison, current six feet distancing guidelines recommend no more than 16 people in this room.

*based on airborne transmission only (what is airborne transmission?)

<https://www.csl.cmu.edu/~www/covid-19/>
<https://github.com/kawesomkhan/covid-indoor>

comportement humain

About Room Specifications Human Behavior Frequently Asked Questions

Human Behavior

Exertion Level: Resting - cours assis

Expiratory Activity: Speaking (quiet speech) - cours magistral

Mask Type: Surgical (75% filtration) - masque chirurgical

Mask Fit/Compliance: 80%

Risk Tolerance: 0.10

A higher risk tolerance will mean more expected transmissions during the expected occupancy period (see FAQ for details). More vulnerable populations such as the elderly or those with preexisting medical conditions will generally require a lower risk tolerance.

Current room: Custom

Based on this model, it should be safe* for this room to have:

- 2 people for 3 days,
- 3 people for 30 hours,
- 4 people for 20 hours,
- 5 people for 15 hours,
- 10 people for 7 hours,
- 25 people for 3 hours,**
- 50 people for 2 hours, or
- 100 people for 1 hour.

reduction du risque



In comparison, current six feet distancing guidelines recommend no more than 16 people in this room.

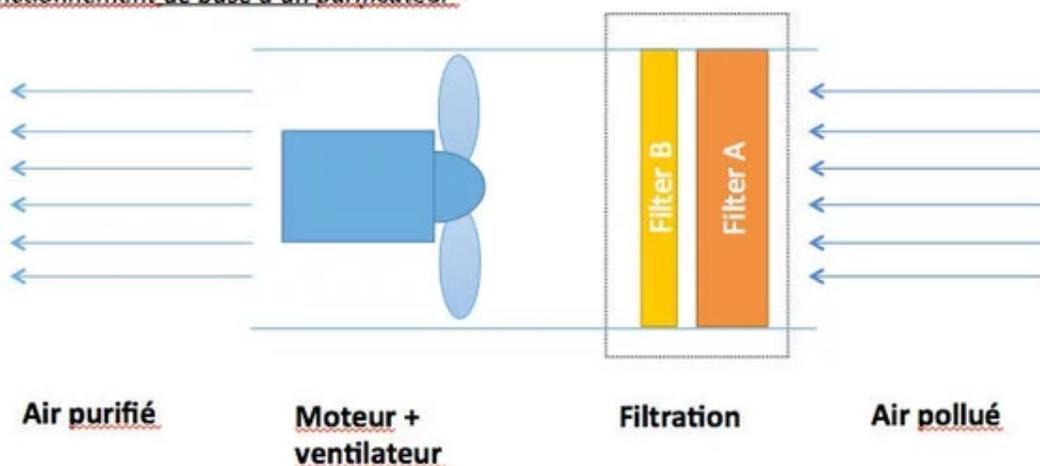
*based on airborne transmission only (what is airborne transmission?)

Les purificateurs d'air

On peut également utiliser des purificateurs d'air après s'être assuré auprès du fabricant que le filtre installé permet effectivement d'éliminer les particules de très petite taille, le mieux étant d'avoir un système basé sur un filtre HEPA (les mentions doivent indiquer une efficacité de filtration de 99.97%). Cependant la puissance ou le nombre de purificateurs d'air devra être proportionnel au volume de la pièce à traiter. Il convient également d'éviter que le flux de l'air pulsé soit dirigé vers les occupants au risque de disperser l'aérosol contaminant dans la pièce (plusieurs [outils](#) disponibles en ligne pour évaluer votre purificateur d'air à la fin du document, en anglais). Exemple d'installation dans une classe primaire en Allemagne : <https://twitter.com/i/status/1313169580794277889>.

Schéma de fonctionnement d'un purificateur d'air :

Fonctionnement de base d'un purificateur



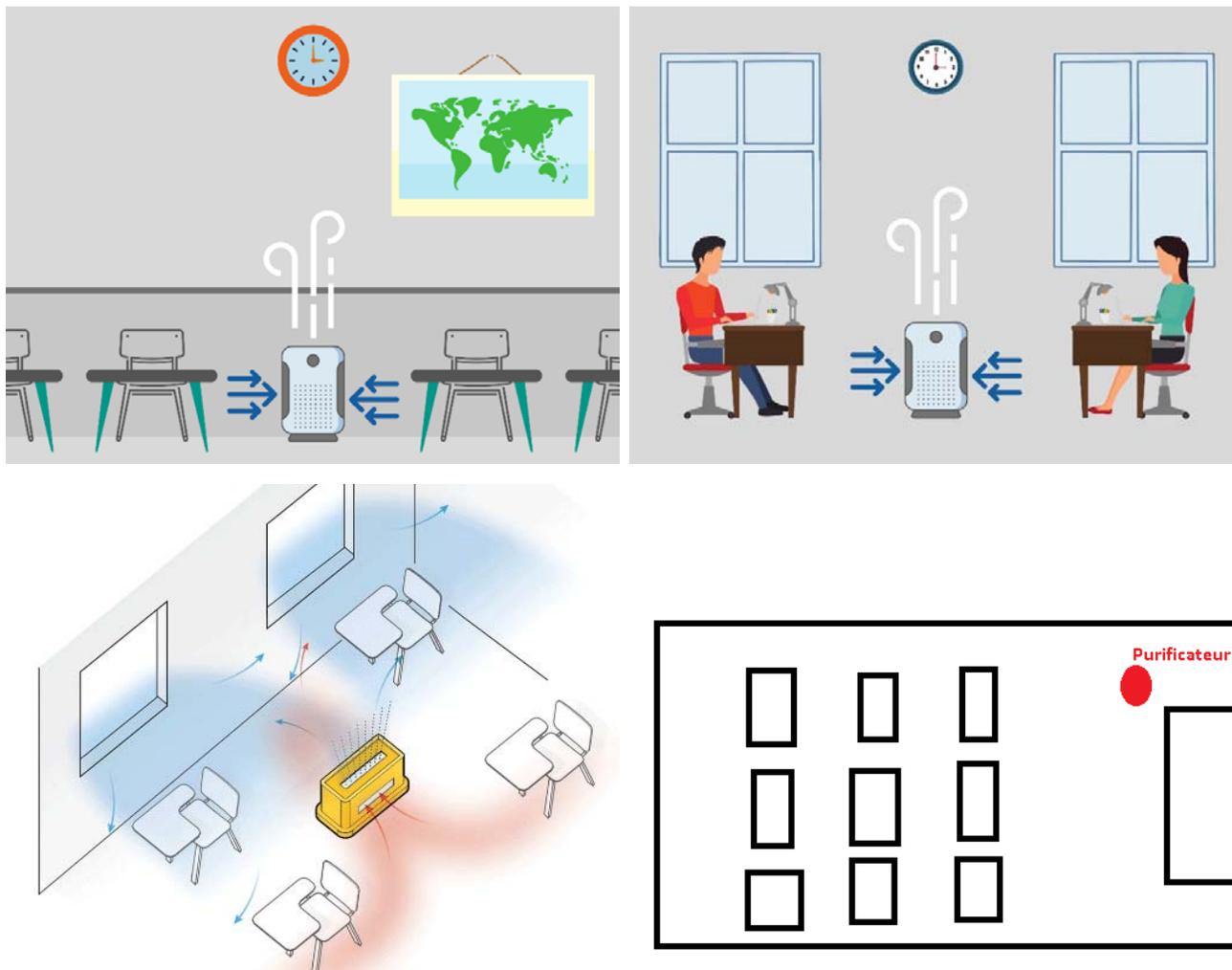
Source : <https://www.lesnumeriques.com/purificateur-air/purificateurs-air-peut-on-y-fier-a2809.html>

Exemple de différents modèles de purificateurs d'air.



Source : Amazon.fr

Exemples de positionnement d'un purificateur au sein d'une salle de classe (de préférence éloigné des occupants et ne pulsant pas vers eux) :



Schémas d'installation d'un purificateur dans une salle de classe. Il faut privilégier la zone susceptible de recevoir le flux maximal (zone sans fenêtre, près du professeur...). En l'installant au milieu des élèves, il n'aura pas forcément un rôle bénéfique en fonction de la circulation de l'air dans la pièce.

Un purificateur protège environ 10 m² dans une pièce. Ainsi, dans une salle de classe par exemple, il est conseillé d'en avoir un proche du professeur (principale personne à parler dans la pièce) afin de pouvoir piéger ses aérosols ; et d'ouvrir les fenêtres autant que possible dans la journée en surveillant la qualité de l'air avec un détecteur de CO₂, comme nous le verrons plus bas. La combinaison des trois semble être la meilleure approche : Purification + Ouverture + Détecteur.

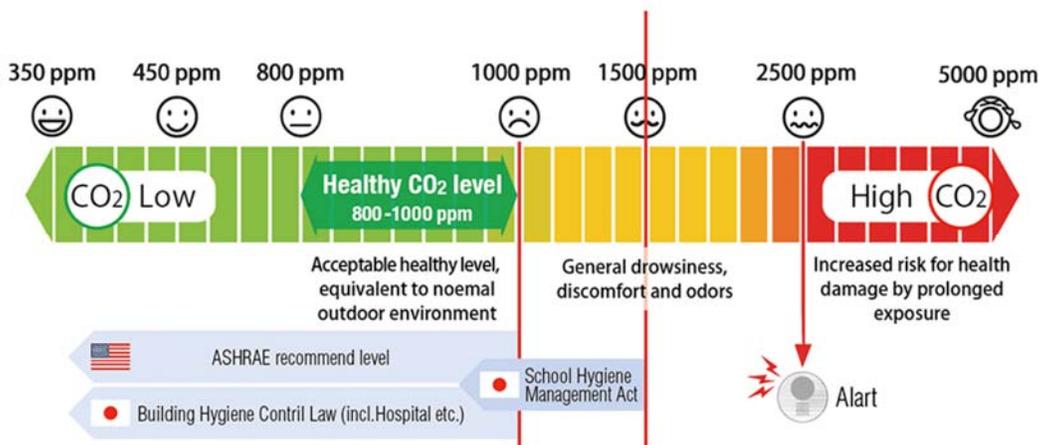
Le placement du purificateur dans les salles ou bureaux fait l'objet d'études ; une pré-publication (pre-print) allemande récente, en cours de révision par les pairs, est déjà disponible¹⁴. Nous travaillons à un document spécifique sur les purificateurs afin de référencer les unités en fonction de leur performance.

¹⁴ Cf. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.10.02.20205633v2.full.pdf>.

Les détecteurs de CO₂

Shelly Miller souligne qu'un des moyens efficaces pour évaluer la qualité de l'air dans une pièce, et de définir en conséquence le moment adéquat pour faire une pause et aérer, est l'utilisation d'un détecteur de dioxyde de carbone (CO₂). En effet des études¹⁵ ont montré que c'est un très bon indicateur du risque aérosols¹⁶.

Dans l'air extérieur, la concentration en CO₂ est de 400 ppm (particules par million), et dans une pièce correctement ventilée elle atteint 800 ppm. Pour assurer la sécurité spécifiquement vis-à-vis du coronavirus les experts recommandent de garder la concentration en CO₂ dans un intervalle de 600 à 800 ppm, en veillant à disposer d'un détecteur de CO₂ suffisamment sensible et précis (précision inférieure à 50 ppm).



Source : <http://group.chcsys.net/en/lets-fight-off-infection-sufficient-indoor-ventilation-by-visualizing-co2-concentration/>

Exemples de détecteurs portables de CO₂.



Source : <https://www.lesnumeriques.com/purificateur-air/purificateurs-air-peut-on-y-fier-a2809.html>

Des projets de fabrication de détecteurs de CO₂ simples et peu chers ont vu le jour sur le mode des Fab-lab, pour permettre de développer et produire des alternatives aux versions du commerce disponibles dès 30 €, mais qui n'ont pas toujours un bon niveau de qualité ou de sensibilité.

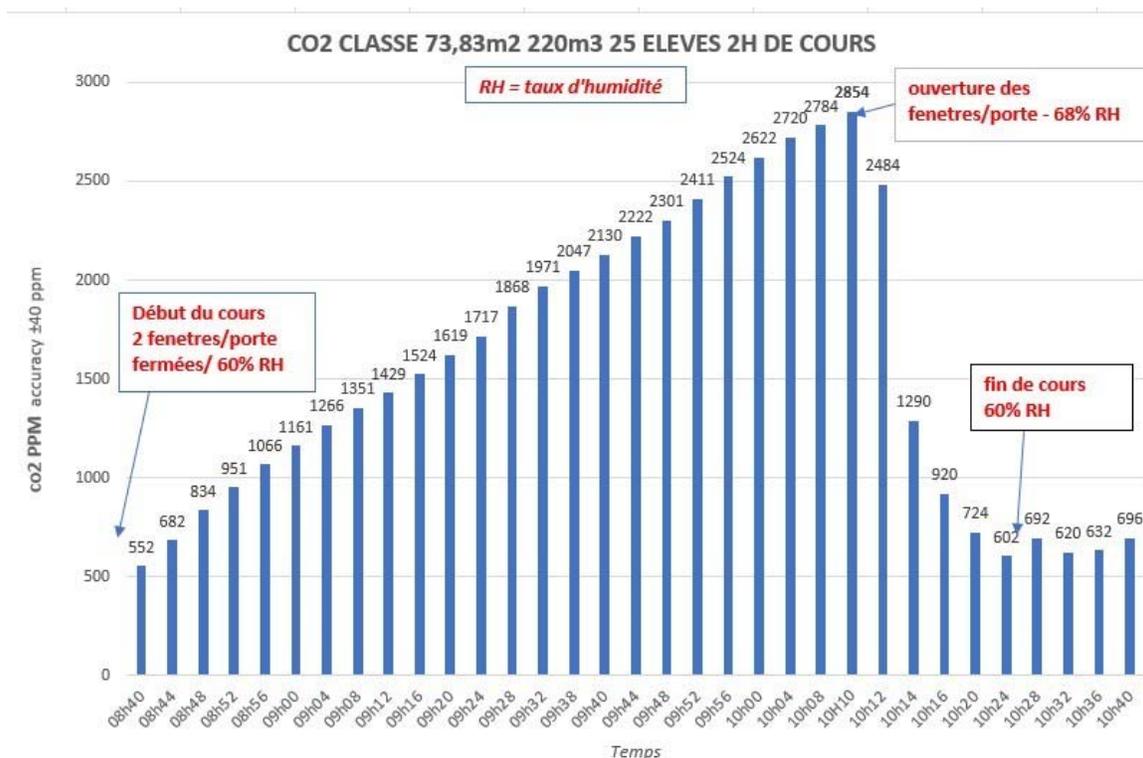
¹⁵ Cf. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.12639>.

¹⁶ Le dioxyde de carbone est l'un des polluants à doser lors de la surveillance périodique de la qualité de l'air des établissements recevant du public. C'est un bon indicateur du confinement de l'air intérieur.

Le « Projet CO₂ » est l'un de ces projets, porté par le Fab-lab « la Fabrique » de CentraleSupélec, et soutenu par plusieurs personnes avec qui nous travaillons depuis le début de cette crise sanitaire (@DrGomi, @AIGensollen, etc). Il est décrit à la page <http://lafabrique.centralesupelec.fr/projetco2/>.

Selon le Dr Yvon Le Flohic (@DrGomi), « *En rendant visible la qualité de l'air, il est possible d'engager des actions de terrain et une vigilance sur le sujet, sans attendre un plan d'équipement en matériels de recyclage, qui ne semble pas prévu dans l'immédiat. Nous ne pouvons avancer sans engagement communautaire et gestion des risques par les communautés et les individus ; rendre visible une mauvaise qualité d'air et objectiver le risque aérosol afin que chacun puisse agir est l'objectif de ce projet.* »

Le graphe ci-dessous illustre la cinétique d'augmentation et diminution du CO₂ dans une salle de cours (ouverture des fenêtres et de la porte après 1 heure et demie) :

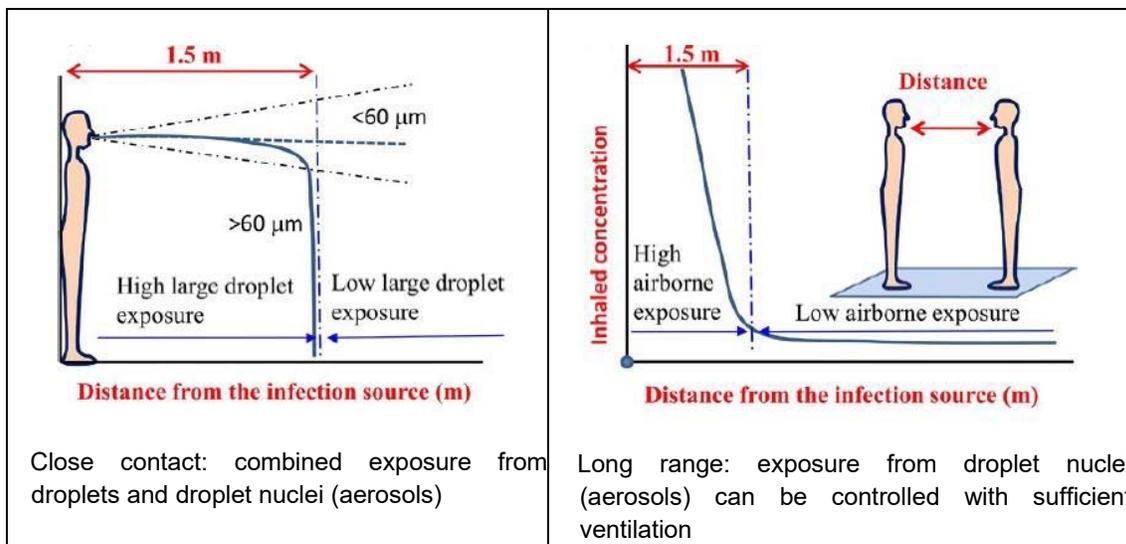


Crédits : @AIGensollen

III. Informations complémentaires sur la base du document de référence du REHVA relatif à la COVID-19 (version du 3 août 2020)

La fédération européenne des Association des Ingénieurs et techniciens en Climatique, Ventilation et Froid (REHVA, www.aicvf.org en France) a publié puis mis à jour un document de référence résumant les informations et solutions pour un renouvellement d'air dans les endroits clos¹⁷. Elle s'est appuyée initialement sur les recommandations de l'OMS¹⁸. Ce document de référence ne traite pas le sujet des équipements de protection individuels.

Les voies de transmissions du virus sont connues, et l'aérosolisation enfin acceptée comme une voie importante sinon majeure de ce processus. Le virus se propage par aérosol, gouttelettes/postillons, et de manière manuportée. Le schéma ci-dessous indique la distance à conserver en fonction de la taille des gouttelettes/postillons. Si la distance permet d'éviter la contamination pour les postillons les plus gros, les aérosols se propagent plus loin. La ventilation peut avoir un effet bénéfique si elle permet de renouveler l'air rapidement dans un espace clos ou bien au contraire aggravant si elle ne renouvelle pas l'air vicié ou le recycle.



Distinction entre contact rapproché qui combine la transmission par gouttelettes et aérosols (à gauche) et la transmission par les aérosols à longue distance (à droite), qui peut être contrôlée par une ventilation diluant la concentration de virus à un faible niveau (Figure: courtesy L. Liu, Y. Li, P. V. Nielsen et al.¹⁹)

Les aérosols peuvent voyager plus loin et ainsi être diffusés par les systèmes de ventilation.

Le schéma ci-dessous illustre la base d'un système d'aération correct dans une salle de classe ou un open-space. Une bouche d'air permettant l'entrée d'air frais extérieur associée à une bouche d'extraction qui permet d'évacuer vers l'extérieur les aérosols et le virus. Ce mécanisme est efficace pour maintenir un air de qualité dans le lieu clos et prévenir ou réduire au maximum l'exposition au virus pour les occupants si l'un d'eux est contagieux. En absence de circulation de l'air de la pièce, les aérosols s'accumulent rapidement et exposent les

¹⁷ https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V3_03082020.pdf, téléchargé depuis la page <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>. La version française d'avril 2020, téléchargeable à l'adresse https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/CoVID-19-REHVA-AICVF-V2.pdf, n'avait pas été mise à jour le 5 octobre 2020.

¹⁸ https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/getting-workplace-ready-for-covid-19.pdf?sfvrsn=359a81e7_6.

¹⁹ Référence xii du document du REHVA : Liu et al, 2017. Short range airborne transmission of expiratory droplets between two people. Indoor Air 2017; 27: 452–462, <https://doi.org/10.1111/ina.12314>.

occupants à un risque élevé de contamination par une personne contagieuse, avec un risque évident de nombreuses personnes pouvant être contaminées du fait du lieu clos et de la durée d'exposition aux aérosols.

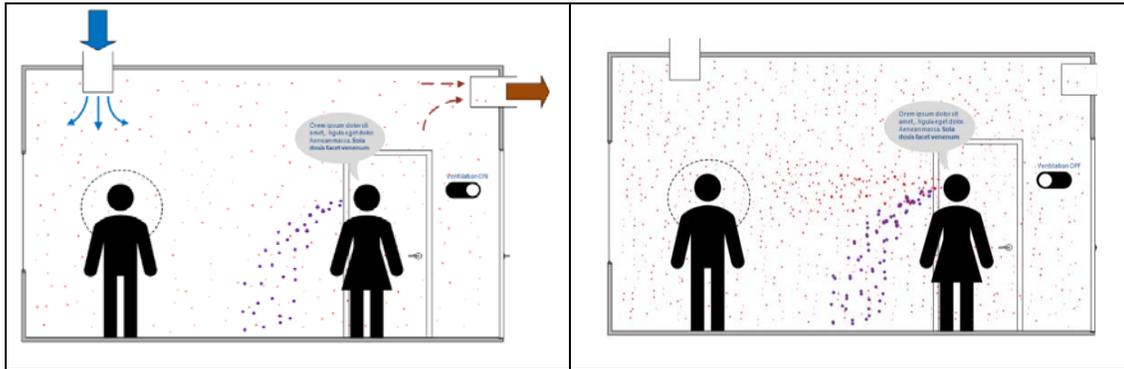


Illustration de la manière dont une personne infectée (femme qui parle sur la droite) conduit à une exposition à un aérosol (points rouges) dans la zone de respiration d'une autre personne (homme à gauche dans ce cas). L'expiration de grosses gouttelettes est marquée par des points violets. Lorsque la pièce est ventilée avec un système de ventilation mixte, la quantité de particules chargées en virus dans la zone de respiration est beaucoup plus faible que lorsque le système de ventilation est arrêté. Figure de gauche : système de ventilation en marche, figure de droite : système de ventilation arrêté.

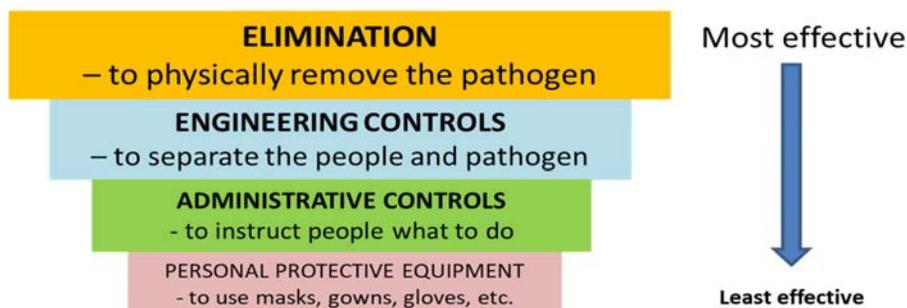
Aujourd'hui même s'il peut demeurer des interrogations sur la prévalence ou la durée de vie du virus dans l'air, il est clair que dans les lieux clos peu ventilés le risque de transmission sera élevé et dépendra de la capacité à renouveler l'air. Dans les hôpitaux qui ont un système de ventilation de 12 TRH en général (flux assurant un renouvellement de l'air 12 fois en une heure), la transmission par aérosol est quasiment éliminée. En revanche dans les salles de classe, les amphithéâtres des universités et les lieux de travail, il devient urgent à l'arrivée de l'hiver de s'assurer de la mise en place de solutions ou à l'adaptation de solutions existantes pour éviter de transformer ces lieux clos en zone d'infection massive et de clusters.

Un autre point à vérifier pour les établissements équipés de VMC : les bouches dites hygroréglables disposant souvent de détecteurs de présence dans les sanitaires. Ils permettent de réduire le débit d'aspiration lorsque personne n'est présent. Il est nécessaire de démonter le mécanisme pour assurer un débit maximal permanent.

Chauffage, ventilation et air conditionné dans un contexte pandémique COVID-19

Comme les bâtiments peuvent posséder une très grande diversité de systèmes permettant le renouvellement de l'air, plusieurs approches ont été évaluées et classées en fonction de leur efficacité à contrôler le risque aérosol pour la COVID-19. Ainsi sont définis les systèmes qui permettent :

- l'élimination du virus
- de séparer la population du virus
- l'information des personnes pour savoir se protéger des aérosols
- les gestes barrières et équipements personnels de protection.



Pyramide de contrôle traditionnelle de l'infection - adaptée des CDC américains²⁰

Le centre européen de contrôle des maladies (ECDC) a préparé un document sur la ventilation des espaces clos dans le contexte de la COVID-19²¹, qui a servi de base au document du REHVA. Pour le REHVA, ses points les plus importants sont²² :

- Les systèmes de ventilation bien entretenus, y compris les climatiseurs, filtrent de façon sûre les grosses gouttelettes contenant du SRAS-CoV-2. Les aérosols de la COVID-19 (petites gouttelettes et noyaux de gouttelettes) peuvent être dispersés par les systèmes de ventilation ou de climatisation autonome au sein d'un bâtiment ou véhicule, si l'air est recyclé.
- En espace clos, le flux d'air généré par les systèmes d'air conditionné peut faciliter la dispersion sur de plus grandes distances des gouttelettes/postillons et aérosols de personnes infectées.
- Les systèmes de ventilation peuvent avoir un rôle complémentaire pour diminuer la transmission dans les espaces intérieurs en augmentant le renouvellement de l'air, en diminuant le recyclage de l'air et en augmentant l'entrée d'air extérieur.
- La durée de fonctionnement des systèmes de ventilation devrait être étendue avant et après que les lieux aient été occupés.
- Le flux d'air doit être détourné des individus afin d'éviter la dispersion des pathogènes depuis les sujets infectés et ainsi la transmission du virus.
- Le recyclage de l'air doit être évité autant que possible.
- Le TRH minimal [taux de renouvellement de l'air par heure] défini par la réglementation doit être respecté à tout moment. L'augmentation du TRH réduira le risque de transmission dans les espaces clos. Cela peut être obtenu par des systèmes de ventilation mécanique ou naturelle, selon la configuration des lieux.

²⁰ Référence xxxiii du document du REHVA : US CDS 2015. Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention. Source : <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>.

²¹ <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/heating-ventilation-air-conditioning-systems-covid-19>.

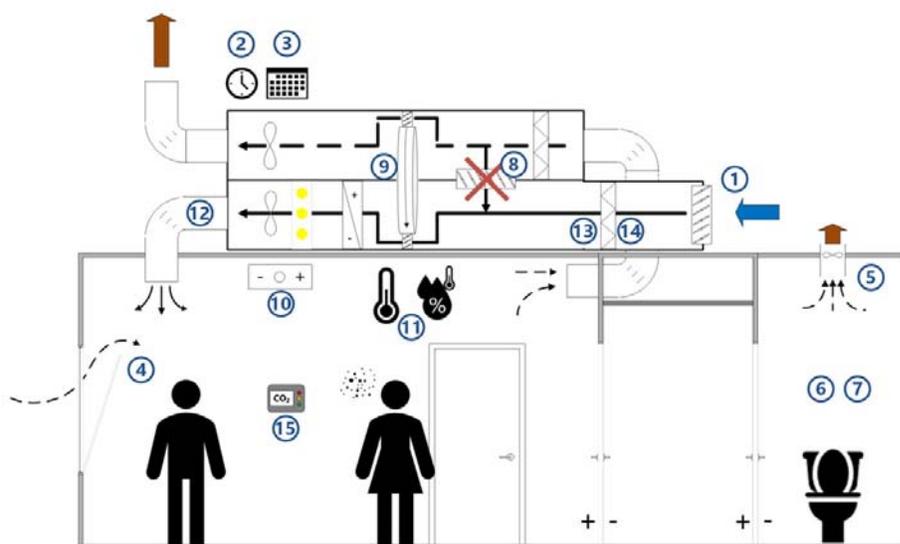
²² Nota : le présent résumé reprend 7 des 11 points du document du REHVA.

Recommandations pour la réduction des risques d'infection dans les bâtiments au cours de la pandémie

Le guide du REHVA couvre 15 domaines, schématisés sur la figure ci-dessous :

1. Taux de ventilation
2. Durée de ventilation
3. Ventilation en continu
4. Avoir les fenêtres ouvertes
5. Ventilation des toilettes
6. Fenêtres dans les toilettes
7. Procédure pour tirer la chasse d'eau
8. Recirculation
9. Système de récupération de la chaleur
10. Ventilateurs-convecteurs et unités à induction
11. Point de contrôle et réglage du chauffage, de la climatisation et de l'humidification
12. Nettoyage des conduits de ventilation
13. filtres de l'air extérieur et de l'air extrait
14. Travaux de maintenance
15. Surveillance de la qualité de l'air intérieur.

Pour ce dernier point, vous pouvez vous référer à notre **check-list des infos et actions essentielles de VENTILATION** dans notre document synthétique QUALITÉ DE L'AIR ET RISQUE COVID19 DANS LES LOCAUX CLOS à destination des enseignants, personnels administratifs de l'enseignement, entrepreneurs et responsables des comités HES.



Points principaux des recommandations du REHVA pour les services techniques des bâtiments

Mesures pratiques à destination des services techniques et d'entretien

Pour les services techniques et d'entretien, les recommandations dans les quinze domaines définis ci-dessus se traduisent ainsi :

1. Assurer une ventilation adéquate des espaces intérieurs avec de l'air extérieur
2. Activer la ventilation à la vitesse nominale au moins 2 heures avant l'heure d'ouverture du bâtiment et la régler sur une vitesse inférieure 2 heures après l'heure de départ des derniers occupants du bâtiment
3. Ne pas désactiver la ventilation la nuit et le week-end, mais laisser les systèmes fonctionner à une vitesse réduite
4. Ouvrir régulièrement les fenêtres (même dans les bâtiments avec ventilation mécanique)
5. Maintenir la ventilation des toilettes en fonctionnement 24h/24
6. Éviter de laisser les fenêtres ouvertes dans les toilettes pour maintenir la bonne direction de ventilation
7. Demander aux usagers de tirer la chasse d'eau avec le couvercle fermé [car beaucoup d'aérosolisation à ce moment-là]²³
8. Passer les centrales de traitement d'air avec recirculation à 100% d'air extérieur
9. Inspecter l'équipement de récupération de chaleur pour s'assurer que les fuites sont contrôlées.
10. Ajuster les paramètres du ventilo-convecteur pour un fonctionnement continu des ventilateurs
11. Ne pas modifier les réglages du chauffage, de la climatisation et de l'humidification
12. Effectuer le nettoyage des conduits de ventilation tel qu'il est programmé (un nettoyage supplémentaire spécifique n'est pas nécessaire [si l'entretien annuel est assuré])
13. Remplacer les filtres à air extérieur et d'air extrait selon le calendrier d'entretien habituel
14. Le remplacement périodique des filtres et les travaux de maintenance doivent être effectués avec des mesures de protection, y compris une protection respiratoire
15. Mettre en place des capteurs de mesure de la qualité de l'air [particules et CO₂ par exemple] qui permettent aux occupants et aux gestionnaires des installations de surveiller que la ventilation fonctionne correctement.

²³ Les précisions entre crochets [...] ont été ajoutées par les traducteurs du groupe Aération/ventilation du collectif Du côté de la science.

IV. Ressources documentaires

Nota : ces références, complémentaires sauf exceptions à celles mentionnées dans le texte, ont été vérifiées le 5 octobre 2020.

Pour aller plus loin sur la qualité de l'air à l'école :

- Air intérieur à l'école : <https://ma-maison-eco-confort.atlantic.fr:air-interieur-a-lecole-on-respire/>
- Le guide pratique ministériel de 2019 « Pour une meilleure qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants et adolescents » : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide-complet-QAI-web.pdf>
- La ventilation dans les bâtiments – Ademe : <https://www.ademe.fr/expertises/batiment/elements-contexte/impacts/ventilation-batiments> [mise à jour le 10 août 2018]

Systemes d'estimation du risque :

- <https://indoor-covid-safety.herokuapp.com/> : cette application utilise un modèle mathématique, développé par les professeurs du MIT Martin Z. Bazant et John Bush, pour améliorer les recommandations actuelles de distanciation en fournissant une description plus précise du risque de transmission de la COVID-19 en lieu clos [utilisé dans le paragraphe « L'aération »]
- https://rapidqmra.shinyapps.io/Rapid_QMRA/
- <https://docs.google.com/spreadsheets/d/16K1OQkLD4BjgBdO8ePj6ytf-RpPMIJ6aXFq3PrIQBbQ/edit#gid=996535083>
- https://docs.google.com/spreadsheets/d/1NEhk1IEdbEi_b3wa6gl_zNs8uBJjSS-86d4b7bW098/edit#gid=1882881703 [mentionné au paragraphe « Les purificateurs d'air »]
- Simulateur pour la qualité de l'air ainsi que des fiches thématique de Office fédéral de la santé publique Suisse :
<https://www.simaria.ch/fr/simaria>
<https://www.schulen-lueften.ch/fr/frdownloads>

Estimation du temps de demi-vie du virus dans l'air et sur les surfaces en fonction de l'humidité, température et indice UV :

- <https://www.dhs.gov/science-and-technology/sars-airborne-calculator>
- <https://www.dhs.gov/science-and-technology/sars-calculator>

Aperçu du rôle de l'humidité relative dans la transmission aérienne du SRAS-CoV-2 dans les environnements intérieurs :

- <https://aaqr.org/articles/aaqr-20-06-covid-0302.pdf>

Recommandations pour la préparation d'une salle de classe pour un retour des enfants, Harvard :

- <https://schools.forhealth.org/wp-content/uploads/sites/19/2020/08/Harvard-Healthy-Buildings-program-How-to-assess-classroom-ventilation-08-28-2020.pdf>

Recommandations pour la réouverture des classes (Université de Californie Berkeley) :

- <https://citiesandschools.berkeley.edu/index.php/covid-school-facilities>
- https://citiesandschools.berkeley.edu/uploads/CC+S_2020_School_Facilities_COVID_Brief_1.pdf

Recommandations de l'association américaine des Ingénieurs et techniciens en Climatique, Ventilation et Froid

- <https://www.ashrae.org/technical-resources/filtration-disinfection>
- <https://www.ashrae.org/technical-resources/reopening-of-schools-and-universities>

Le risque de coronavirus dans une salle de classe :

- article – illustration de la ZDF* <https://zdfheute-stories-scroll.zdf.de/aerosole-klassenzimmer-corona/index.html#CS5-62>

Une infection par aérosols peut être évitée en ventilant régulièrement et fortement.

Le moyen le plus rapide d'y parvenir est un flux d'air traversant la pièce. Malheureusement, cela n'est pas possible dans tous les bâtiments. Une ventilation intermittente avec la fenêtre grande ouverte est également efficace, tandis que les fenêtres oscillo-battantes sont moins efficaces.

Mieux encore: les systèmes de ventilation. Ils assurent automatiquement la meilleure qualité possible de l'air.

* Parmi les sources de la Zweites Deutsches Fernsehen : travaux de l'Institut für Energietechnik – Hermann-Rietschel-Institut de la Technische Universität Berlin sur les aérosols (https://blogs.tu-berlin.de/hri_sars-cov-2/) et en particulier <https://www.tu.berlin/ueber-die-tu-berlin/profil/pressemitteilungen-nachrichten/2020/august/coronavirus-richtig-lueften-will-gelernt-sein/>

Risque d'infection dans les bâtiments : une étude sur les purificateurs d'air :

- <https://www.unibw.de/home/news-rund-um-corona/corona-infektionsgefahr-in-raeumen>

Une étude réalisée par l'Université de Munich a examiné si les épurateurs d'air mobiles pouvaient contribuer de manière significative à réduire le risque d'infection corona dans les espaces clos.

« L'évolution mondiale de l'infection par le SRAS-CoV-2 montre que la pandémie n'en est qu'à ses balbutiements et qu'elle ne peut être enrayée. Même si un vaccin efficace et bien toléré était disponible, une vaccination massive de la population mondiale pour lutter contre la propagation du virus serait impossible. Il est donc nécessaire d'établir des solutions techniques pour lutter contre la pandémie. »