



PURIFICATION DE L'AIR ET FILTRATION : GESTION DE L'INVISIBLE DANS LA « NOUVELLE NORMALITÉ »

Jun 2020

A decorative graphic element consisting of a thick, curved blue line that starts on the left side of the page and curves downwards and to the right, fading out towards the bottom right corner.

La pandémie de COVID-19 a complètement bouleversé le monde. Les chefs d'entreprise cherchent à comprendre la « nouvelle normalité », qui risque d'impliquer de profonds changements dans leur manière de gérer et de soutenir leurs employés.

Pour les propriétaires de bâtiments, tous les aspects seront touchés par la nécessité de limiter la transmission des maladies.

De nombreuses questions restent à l'heure actuelle en suspens. Les espaces de bureau devront-ils être reconfigurés pour permettre le respect de la distanciation sociale ?

Comment les occupants accéderont-ils aux espaces clos tels que les ascenseurs, ou aux zones communes telles que les cuisines ou les cafétérias ?

Les bâtiments devront-ils ouvrir plus tôt et fermer plus tard, afin de répartir les arrivées et les départs des employés ?

Une chose semble certaine : les employés qui reviennent au bureau auront de nouvelles attentes en matière d'état sanitaire et de sécurité du lieu de travail.

Heureusement, les propriétaires de bâtiments et les ingénieurs peuvent faire face efficacement à ces défis. En repensant les bâtiments en tant que barrières contre la contamination, les propriétaires peuvent prendre dès maintenant des mesures afin d'améliorer l'environnement de travail de manière à avoir un impact significatif sur la santé et le bien-être des salariés. « Nos bâtiments et les personnes qui les entretiennent constituent notre première ligne de défense pour assurer notre sécurité et la protection de notre santé », explique Rachel Gutter, Présidente de l'International WELL Building Institute, qui a récemment mis en place le WELL Health-Safety Rating, un système d'évaluation vérifié indépendant, basé sur les preuves, destiné à tous les types de bâtiments et d'infrastructures qui ont à cœur de répondre aux exigences dans l'environnement post-COVID-19.¹

Ce livre blanc fournit des recommandations et des ressources suggérées pour les propriétaires de bâtiments et les ingénieurs afin de mieux gérer le retour des employés, en se concentrant particulièrement sur l'optimisation des systèmes CVC, en vue de réduire la transmission du SARS-CoV-2, le nouveau coronavirus responsable de l'épidémie de COVID-19. Nous décrivons plus spécifiquement :

- Les ressources qui constituent un guide complet pour la planification du retour des salariés dans les bâtiments
- Les ressources et les recommandations pour améliorer la santé dans les bâtiments
- Les systèmes CVC et les technologies de filtration de l'air qui peuvent être déployés rapidement et à faible coût pour optimiser les bâtiments existants : de quoi s'agit-il ? Comment les utiliser ? Quels sont leurs avantages et leurs inconvénients ?

Les bâtiments constituent désormais la première ligne de défense dans la lutte contre la transmission d'une menace virale invisible, mais pourtant mortelle. Les systèmes CVC jouent un rôle majeur dans cette défense. L'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) conclut que « la ventilation et la filtration fournies par les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation peuvent réduire la concentration en SARS-CoV-2 de l'air, et ainsi le risque de transmission par l'air ».²

Pour les propriétaires de bâtiments et les ingénieurs, l'optimisation de ces systèmes, et plus particulièrement l'adoption de solutions spécifiques de filtration de l'air, peut réduire de manière significative le risque de transmission des agents pathogènes, améliorer la santé et le confort des occupants, et maintenir la rentabilité et la compétitivité de leurs opérations de construction.

Planification complète du retour des employés

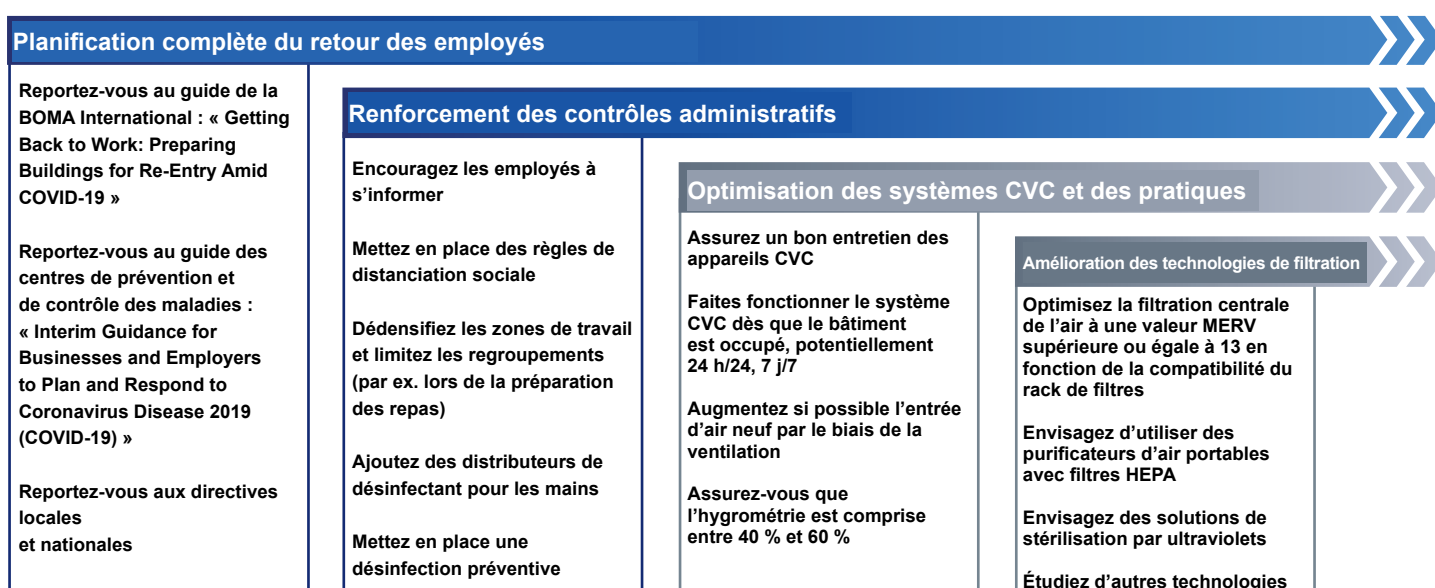
Il est désormais temps pour les propriétaires de bâtiments et les ingénieurs de procéder à une planification complète du retour des salariés.

La BOMA (Building Owners and Managers Association) International a publié un guide d'exploitation en plusieurs étapes, « Getting Back to Work: Preparing Buildings for Re-Entry Amid COVID-19 », afin de préparer un retour en toute sécurité des locataires, du personnel d'entretien, des visiteurs, des fournisseurs et des sous-traitants dans les bâtiments commerciaux.³ Ce document inclut des propositions de meilleures pratiques pour une utilisation sûre des ascenseurs, des zones communes et des espaces polyvalents, des équipements et fournitures partagés, des services de conciergerie, mais aussi pour la sécurité, la signalisation, la préparation aux situations d'urgence, l'assurance et les questions juridiques. Il fait également référence à d'autres sources d'information. Rassemblez votre équipe, communiquez avec les parties prenantes, évaluez les risques, restez informé et, comme le recommande la BOMA, commencez sans attendre.

Outre les recommandations de la BOMA, il est possible de s'appuyer sur les stratégies proposées par les CDC (centres de prévention et de contrôle des maladies) pour réduire la transmission de la COVID-19 sur le lieu de travail.⁴ Les CDC se concentrent sur la continuité d'opérations commerciales saines et sur la mise à disposition d'un environnement de travail sain, tout en garantissant l'agilité. « Les employeurs doivent prévoir une réponse flexible aux différents niveaux de transmission de la maladie au sein de l'entreprise », recommandent les CDC, « tout en se préparant à un ajustement de leurs plans de réponse en fonction des besoins ».

La BOMA et les CDC mettent l'accent sur la nécessité de consulter les responsables nationaux et locaux de la santé. Ils procèdent tous deux régulièrement à des mises à jour de leurs recommandations en fonction des nouvelles informations disponibles et du développement de nouvelles meilleures pratiques.

Optimisation de la santé et du confort dans les bâtiments, dans un contexte de « nouvelle normalité »



Renforcement des contrôles administratifs

Le bâtiment est complexe. Le risque de transmission d'agents pathogènes varie en fonction de certains facteurs, tels que la densité d'occupation, la responsabilité individuelle en matière de distanciation sociale et de lavage des mains, l'utilisation d'un équipement de protection individuelle adapté et les pratiques en matière de désinfection. Bien qu'il n'existe aucune solution garantissant la protection de la santé de nos employés, la planification, les choix responsables et la vigilance, à la fois de la part des propriétaires des bâtiments et de leurs occupants, sont essentiels.

Le Healthy Buildings Program de la Harvard T. H. Chan School of Public Health propose une stratégie « à plusieurs niveaux » afin de minimiser la transmission des maladies sur le lieu de travail.⁵ Le premier niveau de défense nécessite la mise en œuvre engagée de stratégies de télétravail. Néanmoins, une fois que les employés ont le feu vert pour réintégrer un bâtiment, le renforcement des contrôles administratifs devient crucial pour la protection de la santé des salariés. Les contrôles administratifs peuvent consister à encourager les employés à s'informer, à mettre en place des mesures de distanciation sociale, à dédensifier les zones de travail et à réduire les zones de préparation des repas et autres points de transmission potentielle, à ajouter des distributeurs de désinfectant pour les mains et à développer un programme rigoureux de désinfection préventive.⁶

Pour plus d'informations sur cette approche à plusieurs niveaux de la santé dans les bâtiments, la Harvard T.H. Chan School of Public Health propose 9 piliers (« The 9 Foundations of a Healthy Building »).⁷ En outre, l'ASM (American Society for Microbiology) a publié un document intitulé « 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations to Reduce Transmission », qui fournit des informations actualisées sur les stratégies de médiation pour la transmission du SARS-CoV-2, en s'appuyant sur les dernières recherches relatives aux échanges d'agents pathogènes dans l'environnement bâti.⁸

Outre ces contrôles administratifs, les propriétaires et les ingénieurs doivent également se concentrer sur les possibilités d'amélioration de l'état sanitaire fondamental de l'environnement dans lequel se trouvent les bâtiments. Dans le cadre de ces efforts, il est indispensable d'améliorer la ventilation, la qualité de l'air, l'hygrométrie et le bien-être thermique. L'ASHRAE a conclu que toute stratégie de contrôle des maladies infectieuses dans l'environnement bâti nécessite « un système CVC correctement conçu, installé, utilisé et entretenu ».⁹ L'optimisation de ces systèmes constitue une priorité dans le cadre de la lutte contre la COVID-19.

Optimisation des systèmes CVC et des pratiques

Il existe plusieurs étapes qui relèvent du bon sens¹⁰ et que les propriétaires de bâtiments et ingénieurs peuvent suivre pour améliorer l'efficacité de leur système CVC dans la réduction de la transmission des maladies. Ces étapes incluent notamment les suivantes :

- Faire fonctionner le système CVC dès lors que le bâtiment est occupé, y compris en dehors des heures de bureau, pour les équipes de nettoyage, d'ingénierie, de sécurité et de support. Si possible, laisser le système en fonctionnement 24 h/24 et 7 j/7, afin d'assurer une ventilation optimale du bâtiment.
- Augmenter la ventilation extérieure (en faisant attention dans les zones polluées), désactiver la ventilation à la demande et ouvrir les registres d'air extérieur au maximum si la météo et d'autres facteurs le permettent. Une récente étude a démontré que l'amélioration de la ventilation en apportant des niveaux minimum d'air extérieur réduisait la transmission de la grippe dans les mêmes proportions que le fait de faire vacciner la moitié des occupants d'un bâtiment.¹¹
- S'assurer que l'hygrométrie reste entre 40 % et 60 % afin de limiter la propagation et la durée de vie du SARS-CoV-2. L'ASM indique que cela diminue également le risque de développement de moisissures et maintient les barrières muqueuses des occupants intactes et hydratées ».
- Vérifier et remplacer les systèmes de filtration, et ajouter des technologies de filtration afin d'améliorer la qualité de l'air et de réduire la transmission des particules et des maladies. Pour cela, il est notamment possible :
- d'améliorer la filtration centrale de l'air pour atteindre le niveau MERV 13 ou le plus haut niveau compatible avec le rack de filtres, tout en rendant les bords du filtre étanches pour limiter les contournements ;
- d'envisager d'utiliser des purificateurs d'air portables avec filtres HEPA ;
- d'envisager d'utiliser des solutions de stérilisation par ultraviolets.

L'adoption de technologies de filtration de l'air reconnaît que l'utilisation de l'air extérieur à des fins de ventilation peut être limitée en cas de conditions météorologiques extrêmes ou en cas de pollution élevée dans l'air extérieur. Avec une technologie de filtration appropriée, les propriétaires de bâtiments et les ingénieurs disposent d'un outil puissant en vue d'améliorer sensiblement la qualité de l'air intérieur (QAI). La réduction des polluants à la fois dans l'air extérieur et dans l'air intérieur recyclé permet aux propriétaires de bâtiments d'atteindre un équilibre optimal entre la QAI, la consommation d'énergie, la sécurité des occupants et leur confort. La section ci-dessous décrit quelques-unes des solutions de filtration de l'air les plus courantes, abordables et efficaces.

Amélioration des technologies de filtration

Bien que les épidémiologistes soient encore en phase d'apprentissage sur la manière dont le SARS-CoV-2 se propage, les recherches actuelles, associées à la connaissance que les scientifiques ont déjà de la grippe grâce aux épidémies passées, indiquent que le virus est le plus souvent transmis par des gouttelettes et des particules aérosolisées.

La taille de ces gouttelettes, qui peuvent passer d'une personne à l'autre par contact avec des surfaces infectées et par transfert dans l'air, varie de 0,004 à 1,0 micron.¹²

Les systèmes CVC utilisent des filtres mécaniques composés de matériaux poreux de diverses densités pour emprisonner les particules aéroportées.

L'efficacité des solutions de filtration dépend de l'efficacité du filtre (qui est mesurée par la valeur consignée d'efficacité minimale, ou MERV), du nombre et de l'emplacement des filtres utilisés en série, du débit d'air et de la taille des particules à emprisonner. Certains filtres peuvent permettre de capturer un ensemble de particules, de gaz ou de polluants biologiques aéroportés, bien que la plupart des solutions les plus courantes de filtration de l'air impliquent le recours à plusieurs types de filtres installés en série. Les notes MERV fournissent une échelle permettant de classer les filtres conçus pour capturer des particules allant de 10 microns à une taille aussi infime que 0,3 micron.

Une mesure standardisée, PM_{2,5}, se réfère aux particules de moins de 2,5 microns, qui sont supposées avoir un impact négatif moindre sur la santé. « PM_{2,5} est également le polluant le plus évident à éliminer des environnements intérieurs grâce à un système de filtration », explique Rick Karg, de l'ASHRAE.¹³ L'ASHRAE recommande d'atteindre au moins un niveau MERV 13 pour capturer ces particules ultrafines. Des recherches complémentaires indiquent que les filtres MERV 16 sont capables d'éliminer environ 95 % des particules PM_{2,5}.¹⁴

La plupart des bâtiments résidentiels et commerciaux sont équipés de filtres allant jusqu'à une valeur MERV 12, tandis que les salles blanches, les salles d'opération, les salles d'isolement et d'autres sites médicaux, industriels et commerciaux à haut risque utilisent des filtres MERV 13 ou supérieurs. Les filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air) présentent des valeurs MERV comprises entre 17 et 20, les filtres HEPA MERV 17 permettant d'éliminer 99,97 % des particules, jusqu'à une taille de 0,3 micron.

Technologie de filtration ¹⁵	Applications	Méthodologie	Avantages et limites dans le cadre de la capture du virus SARS-CoV-2
Filtres média (MERV 1-16)	Bâtiments résidentiels, souvent commerciaux et industriels	Capturent les particules	<ul style="list-style-type: none"> + Installation simple + Filtres MERV 16 et supérieurs efficaces contre les PM_{2,5} - En grande partie inefficaces contre les particules de la taille du SARS-CoV-2
Filtres HEPA (MERV 17-20)	Salles blanches, salles d'opération, salles d'isolement, sites à haut risque	Capturent les particules	<ul style="list-style-type: none"> + Efficaces contre les particules qui transportent le SARS-CoV-2 - Peuvent augmenter la consommation d'énergie - Peut nécessiter des modifications du système CVC
Stérilisation par ultraviolets et filtres média	Bâtiments commerciaux, de santé et résidentiels	Dégrade et inactive les virus, capture les particules	<ul style="list-style-type: none"> + Idéale pour renforcer les systèmes de filtration HEPA - Peut nécessiter des modifications du système CVC

Une analyse de l'efficacité des systèmes de filtration de l'air suggère que même les filtres les mieux notés sont incapables de capturer des particules de la taille du virus COVID-19. Cependant, l'ASM note que les « virus sont rarement des particules isolées, mais sont généralement expulsés du corps combinés avec de l'eau, des protéines, des sels et d'autres composants ». À ce jour, l'ASM indique que « le SARS-CoV-2 a été observé dans des particules aérosolisées à des tailles allant de 0,25 à 0,5 micron ».¹⁶

De ce fait, le déploiement de filtres HEPA et de filtres ayant une valeur MERV élevée peut jouer un rôle primordial dans la capture des particules infectées par le SARS-CoV-2 et dans la réduction du risque de transmission de la maladie dans l'environnement bâti.

De nombreux bâtiments sont équipés de filtres bon marché, conçus pour capturer moins de 20 % des particules de la taille des virus.¹⁷ En fonction de l'ancienneté et du type d'installation CVC, les filtres haute efficacité peuvent constituer une solution de modernisation rapide et à moindre coût. Les propriétaires de bâtiments doivent faire appel à des ingénieurs experts lors de cette prise de décision.

Il existe une deuxième solution efficace pour améliorer la qualité de l'air et réduire la transmission de la COVID-19 : la stérilisation par ultraviolets, qui dégrade et inactive les bactéries, les spores de moisissures, les champignons et les virus. Généralement, la source de désinfection par ultraviolets est une lampe à vapeur de mercure qui fournit de l'énergie rayonnante dans la bande spectrale connue sous le nom UV-C, de 200 à 280 nanomètres. Une étude a démontré que 10 minutes d'exposition à une lumière UV-C inactivaient 99,999 % des CoV testés, y compris le SARS-CoV-2.¹⁸

Des chercheurs de l'Illuminating Engineering Society ont conclu que la stérilisation par ultraviolets « pouvait être très efficace pour désinfecter l'air dans la partie haute de la pièce (air au-dessus de 2 mètres) lorsque la hauteur sous plafond le permet ». Les bâtiments dédiés à la santé utilisent également la stérilisation par ultraviolets dans les unités mobiles et dans les unités de traitement de l'air CVC, afin de réduire le développement de moisissures sur les batteries de refroidissement.¹⁹ Les émetteurs de rayons UV de stérilisation peuvent également être installés côté alimentation d'un système CVC, en aval de la batterie de refroidissement et au-dessus du bac d'évacuation pour un contrôle efficace du biofilm et des microbes.²⁰

La stérilisation par ultraviolets est une solution efficace mais spécialisée, utilisée pour améliorer les systèmes CVC déjà parfaitement optimisés.

Conclusion

Les experts pensent que les effets de la COVID-19 sont appelés à durer. « La durée exacte est imprévisible », déclare l'épidémiologiste Marc Lipsitch, mais « il ne s'agit pas de passer un pic, comme certaines personnes semblent le penser ».²¹ Les propriétaires de bâtiments et les ingénieurs CVC doivent prendre dès maintenant des mesures pour préparer les bâtiments au retour des occupants, et pour créer la base d'un environnement sain et durable.

L'adoption d'une stratégie à plusieurs niveaux reflète la complexité de l'environnement et s'appuie à la fois sur la contribution des propriétaires des bâtiments et sur celle des occupants pour assurer la santé et le bien-être. Dans le cadre de cette stratégie, il est important d'analyser et éventuellement de moderniser le système CVC d'un bâtiment, notamment en ajoutant des solutions de filtration de l'air. « Il n'y a plus aucune raison de limiter le flux d'air et la filtration », explique John Macomber, de la Harvard Business School. « Il s'agit d'un moyen bon marché d'aider les gens à être en meilleure santé. »²²

Dans la nouvelle normalité, un bâtiment sain sera un minimum pour que les propriétaires de bâtiments restent compétitifs. La filtration mécanique, la stérilisation par ultraviolets et d'autres technologies de filtration de l'air que les propriétaires de bâtiments peuvent vouloir étudier, y compris les purificateurs d'air à particules électroniques, les purificateurs d'air absorbants et les purificateurs d'air qui s'appuient sur l'oxydation photocatalytique, sont décrites dans le document « ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning ».²³ Carrier a également répertorié les solutions et les meilleures pratiques dans sa newsletter Carrier Engineering, « Meeting IAQ Needs with Enhanced Filtration ».

Les ingénieurs sont des acteurs clés de l'optimisation des systèmes CVC afin de réduire la transmission des maladies tout en améliorant la consommation d'énergie et le confort des occupants. Vous pouvez faire appel aux experts Carrier pour en savoir plus.²⁴

Ressources complémentaires suggérées

« Getting Back to Work: Preparing Buildings for Re-Entry Amid COVID-19 », BOMA International, 28 avril 2020, https://www.boma.org/BOMA/ResearchResources/3-BOMA-Spaces/Newsroom/Press_Room/2020/Getting_Back_to_Work.aspx

« Interim Guidance for Businesses and Employers to Plan and Respond to Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) », Centres de prévention et de contrôle des maladies, 21 mars 2020, <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/guidance-business-response.html>.

« The 9 Foundations of a Healthy Building », Harvard T.H. Chan School of Public Health, 2020, <https://dev.forhealth.org/>

Leslie Dietz et al., « 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission », mSystems, Volume 5, Édition 2, mars/avril 2020, 23 avril 2020, <https://msystems.asm.org/content/5/2/e00245-20>.

Lawrence J. Schoen, « Guidance for Building Operations During the COVID-19 Pandemic », newsletter de l'ASHRAE Journal, 20 mars 2020, <https://www.ashrae.org/news/ashraejournal/guidance-for-building-operations-during-the-covid-19-pandemic>

« ASHRAE Position Document on Airborne Infectious Diseases », approuvé par le conseil d'administration de l'ASHRAE le 19 janvier 2014, confirmé par le conseil technologique le 5 février 2020, expiré le 5 août 2020, ASHRAE, Atlanta (Géorgie, États-Unis), <https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/airborneinfectious-diseases.pdf>



« 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 », document de référence REHVA sur la COVID-19, 3 avril 2020, https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_ver2_20200403_1.pdf

« Meeting IAQ Needs With Enhanced Filtration: A Review of ASHRAE Standards Related to Building Air Quality », newsletter Carrier Engineering, Volume 5, Édition 1, Carrier Corporation 2017, https://www.sharedocs.com/hvac/docs/1001/Public/OE/ENG_NEWS_5_1_1.pdf

« ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning », approuvé par le conseil d'administration de l'ASHRAE le 29 janvier 2015, confirmé par le conseil technologique le 13 janvier 2018, <https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/filtration-and-air-cleaning-pd.pdf>

« IES Committee Report: Germicidal Ultraviolet (GUV) – Frequently Asked Questions », IES Photobiology Committee, Illuminating Engineering Society, 2020, Web 14 mai 2020, <https://media.ies.org/docs/standards/IES%20CR-2-20-V1a-20200507.pdf>

Références

1. « International WELL Building Institute Launches WELL Health-Safety Rating for all Building and Facility Types », International Well Building Institute, 8 juin 2020, Web 23 juin 2020, <https://resources.wellcertified.com/press-releases/international-well-building-institute-launches-well-healthsafety-rating-for-all-building-and-facility-types/>. Pour les barrières contre la contamination, voir Joseph G. Allen, « Your Building Can Make You Sick or Keep You Well », The New York Times, 4 mars 2020, Web 9 mai 2020, <https://www.nytimes.com/2020/03/04/opinion/coronavirus-buildings.html>.
2. « Pandemic COVID-19 and Airborne Transmission », Comité sur la santé environnementale de l'ASHRAE, approuvé le 17 avril 2020, Web 23 avril 2020, <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/eiband-airbornetransmission.pdf>.
3. « Getting Back to Work: Preparing Buildings for Re-Entry Amid COVID-19 », BOMA International, 28 avril 2020, Web 10 mai 2020, https://www.boma.org/BOMA/ResearchResources/3-BOMA-Spaces/Newsroom/Press_Room/2020/Getting_Back_to_Work.aspx
4. « Interim Guidance for Businesses and Employers to Plan and Respond to Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) », Centres de prévention et de contrôle des maladies, 21 mars 2020, Web 23 avril 2020, <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/guidance-business-response.html>.
5. Joseph G. Allen et John D. Macomber, « What Makes an Office Building 'Healthy' » Harvard Business Review, 29 avril 2020, Web 7 mai 2020, <https://hbr.org/2020/04/what-makes-an-office-building-healthy>.
6. Lawrence J. Schoen, « Guidance for Building Operations During the COVID-19 Pandemic », newsletter de l'ASHRAE Journal, 20 mars 2020, Web 7 mai 2020, <https://www.ashrae.org/news/ashraejournal/guidance-for-building-operations-during-the-covid-19-pandemic>
7. « The 9 Foundations of a Healthy Building », Harvard T.H. Chan School of Public Health, 2020, Web 12 mai 2020, <https://dev.forhealth.org/>
8. Leslie Dietz et al., « 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission », mSystems, Volume 5, Édition 2, mars/avril 2020, 23 avril 2020, Web 12 mai 2020, <https://msystems.asm.org/content/5/2/e00245-20>.
9. « ASHRAE Position Document on Airborne Infectious Diseases », approuvé par le conseil d'administration de l'ASHRAE le 19 janvier 2014, confirmé par le conseil technologique le 5 février 2020, expiré le 5 août 2020, ASHRAE, Atlanta (Géorgie, États-Unis), Web 8 mai 2020, <https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/airborneinfectious-diseases.pdf>
10. Cette liste constitue une consolidation des étapes recommandées par quatre sources d'experts et doit être adaptée aux besoins individuels des bâtiments : Schoen, « Guidance for Building Operations During the COVID-19 Pandemic ». Voir aussi « ASHRAE Position Document on Airborne Infectious Diseases ». Voir aussi « 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 », document de référence REHVA sur la COVID-19, 3 avril 2020, Web 8 mai 2020, https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_ver2_20200403_1.pdf. Voir aussi Dietz, « 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic ».

11. Joseph G. Allen, « Your Building Can Make You Sick or Keep You Well », The New York Times, 4 mars 2020, Web 9 mai 2020, <https://www.nytimes.com/2020/03/04/opinion/coronavirus-buildings.html>.
12. Dietz, « 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic ».
13. « New Residential IAQ Guideline Contains Changes Regarding Use of High Efficiency Filters », ASHRAE 2019, 2 septembre 2015, Web 18 mai 2020, <https://www.ashrae.org/about/news/2015/new-residential-iaq-guideline-contains-changes-regarding-use-of-high-efficiency-filters>.
14. Dan Zhao et al., « Evaluating the Long-Term Health and Economic Impacts of Central Residential Air Filtration for Reducing Premature Mortality Associated with Indoor Fine Particulate Matter (PM2.5) of Outdoor Origin », International Journal of Environmental Research and Public Health, juillet 2015, Web 18 mai 2020, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4515730/>.
15. Ce tableau est adapté du tableau 3 – Filtration Methods du document « Meeting IAQ Needs With Enhanced Filtration: A Review of ASHRAE Standards Related to Building Air Quality », newsletter Carrier Engineering, Volume 5, Édition 1, Carrier Corporation 2017, Web 8 mai 2020, https://www.shareddocs.com/hvac/docs/1001/Public/0E/ENG_NEWS_5_1_1.pdf.
16. Leslie Dietz, « Correction for Dietz et al. », correction apportée après la première publication, 2020, Web 14 mai 2020, <https://msystems.asm.org/content/5/3/e00375-20>.
17. Allen, « Your Building Can Make You Sick or Keep You Well ».
18. Dietz, « Correction ».
19. « IES Committee Report: Germicidal Ultraviolet (GUV) – Frequently Asked Questions », IES Photobiology Committee, Illuminating Engineering Society, 2020, Web 14 mai 2020, <https://media.ies.org/docs/standards/IES%20CR-2-20-V1a-20200507.pdf>
20. « Coronavirus and UVC », Steril-Aire, Web 14 mai 2020, <https://www.steril-aire.com/wp-content/uploads/2020/03/Coronavirus-and-UVC.pdf>.
21. Siobhan Roberts, « This Is the Future of the Pandemic », The New York Times, 8 mai 2020, Web 14 mai 2020, <https://www.nytimes.com/2020/05/08/health/coronavirus-pandemic-curve-scenarios.html>.
22. Kristen Senz, « Why COVID-19 Raises the Stakes for Healthy Buildings », Harvard Business School Working Knowledge, 20 avril 2020, Web 23 avril 2020, <https://hbswk.hbs.edu/item/why-covid-19-raises-the-stakes-for-building-health>.
23. « ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning », approuvé par le conseil d'administration de l'ASHRAE le 29 janvier 2015, confirmé par le conseil technologique le 13 janvier 2018, Web 12 mai 2020, <https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/filtration-and-air-cleaning-pd.pdf>
24. « Meeting IAQ Needs With Enhanced Filtration: A Review of ASHRAE Standards Related to Building Air Quality », newsletter Carrier Engineering, Volume 5, Édition 1, Carrier Corporation 2017, Web 8 mai 2020, https://www.shareddocs.com/hvac/docs/1001/Public/0E/ENG_NEWS_5_1_1.pdf