



# Analyse de l'efficacité des dispositifs d'épuration de l'air intérieur en milieu résidentiel

REVUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE



# Analyse de l'efficacité des dispositifs d'épuration de l'air intérieur en milieu résidentiel

REVUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Février 2019

*Institut national  
de santé publique*

Québec 

## **AUTEURS**

Patrick Poulin, Ph. D., conseiller scientifique spécialisé  
Jean-Marc Leclerc, M. Sc., conseiller scientifique  
François Tremblay, technicien en environnement  
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

## **AVEC LA COLLABORATION DE**

Marianne Favreau-Perreault, M. Sc., agente de planification, de programmation et de recherche  
Dr Éric Lampron Goulet, médecin spécialiste en santé publique et médecine préventive  
D<sup>re</sup> Linda Pinsonneault, médecin spécialiste en santé publique et médecine préventive  
Centre intégré universitaire de santé et des services sociaux de l'Estrie – Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke

## **RÉVISEURS**

Jean-François Gravel, M. ing., ingénieur  
Direction de l'expertise conseil et du soutien à l'industrie, Société d'habitation du Québec  
Boualem Ouazia, Ph. D., agent de recherche  
Conseil national de recherches Canada  
Caroline Huot, médecin-conseil  
Marie-Eve Levasseur, conseillère scientifique  
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

## **RÉVISION ET MISE EN PAGE**

Véronique Paquet, agente administrative  
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs souhaitent remercier Mahée Lacourse, bibliothécaire à l'Institut national de santé publique du Québec, pour son soutien lors de l'élaboration et de l'application de la stratégie de recherche documentaire, ainsi que le ministère de la Santé et des Services sociaux qui, par le biais de l'offre de service de l'Équipe scientifique sur l'environnement intérieurs, a soutenu la réalisation de ce document.

*Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.*

*Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : [droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca](mailto:droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca).*

*Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.*

Dépôt légal – 2<sup>e</sup> trimestre 2019  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
ISBN : 978-2-550-84001-5 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2019)

## Avant-propos

Les résultats du survol de la littérature scientifique et technique présentés dans ce document ne constituent pas une analyse exhaustive de la littérature sur le sujet et concernent uniquement les mesures et dispositifs visant à épurer l'air des milieux résidentiels. Il présente une revue descriptive des équipements disponibles sur le marché, leurs principaux avantages et inconvénients ainsi que les éléments techniques à considérer quant à leur utilisation et à leur entretien. Il est à noter que plusieurs des techniques d'épuration identifiées ont été développées aux fins d'applications industrielles et commerciales et, qu'en ce sens, les textes consultés ne spécifient pas nécessairement si l'utilisation des technologies décrites est envisageable en milieu résidentiel.

Le présent document n'a pas pour objet de recommander l'utilisation d'une technologie ou d'un modèle d'appareil en particulier, mais bien de décrire de façon factuelle les caractéristiques et performances des appareils potentiellement utiles et disponibles sur le marché. Lorsqu'elles étaient disponibles, certaines recommandations visant à utiliser les dispositifs d'épuration de façon efficace et sécuritaire ont été rapportées.

Enfin, il est à noter que les conclusions de cet avis s'appuient sur l'analyse des données probantes issues de la littérature concernant l'effet de l'utilisation de différents types d'épurateurs d'air sur la charge de contaminants dans l'air intérieur et, lorsque les informations à cet effet étaient disponibles, sur la santé des occupants. Ces conclusions portant sur la relative utilité des systèmes d'épuration ne garantissent pas que leur utilisation puisse atténuer les nuisances olfactives ou les symptômes éprouvés par les occupants. En effet, l'ampleur des bénéfices pouvant découler de l'emploi d'une telle technologie dépend de nombreux facteurs, tels leur conception, leur mode d'utilisation, leur entretien, etc. La nature des contaminants à atténuer, les interactions entre eux de même que le contexte d'utilisation peuvent également faire varier les résultats attendus.



## Table des matières

<b>Liste des sigles et acronymes</b> .....	<b>V</b>
<b>Faits saillants</b> .....	<b>1</b>
<b>Sommaire</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Mise en contexte</b> .....	<b>7</b>
1.1 Intervention à l'origine de la demande adressée à l'INSPQ .....	7
1.2 Mandat confié à l'INSPQ par la DSPublique de l'Estrie .....	8
<b>2 Méthodologie</b> .....	<b>9</b>
2.1 Littérature scientifique .....	9
2.1.1 Bordereau de recherche .....	9
2.1.2 Critères d'exclusion .....	10
2.2 Littérature complémentaire.....	10
<b>3 Résultats de la revue de la littérature</b> .....	<b>11</b>
3.1 Maintien de la qualité de l'air intérieur.....	11
3.1.1 Organismes compétents.....	11
3.1.2 Aperçu des sources de contaminants et de leurs effets à la santé .....	11
3.1.3 Approche de gestion préconisée.....	12
3.2 Modes d'application des techniques d'épuration .....	13
3.3 Rendement relatif des dispositifs d'épuration.....	14
3.4 Techniques d'épuration .....	15
3.4.1 Filtration mécanique .....	15
3.4.2 Adsorption.....	19
3.4.3 Captation électrostatique .....	21
3.4.4 Ionisation.....	24
3.4.5 Ozonation.....	25
3.4.6 Plasma .....	27
3.4.7 Ultraviolet .....	29
3.4.8 Photocatalyse .....	32
3.5 Études comparatives .....	36
<b>4 Discussion</b> .....	<b>41</b>
4.1 Analyse transversale des technologies disponibles.....	41
4.2 Technologies à préconiser.....	43
<b>5 Conclusion</b> .....	<b>47</b>
<b>6 Références</b> .....	<b>51</b>
<b>Annexe 1 Bordereau de recherche</b> .....	<b>65</b>
<b>Annexe 2 Synthèse des études portant sur l'utilisation de système de filtration pour le maintien de la QAI</b> .....	<b>69</b>
<b>Annexe 3 Synthèse des études portant sur les déterminants affectant la performance des systèmes d'oxydation photocatalytique (OPC)</b> .....	<b>73</b>
<b>Annexe 4 Synthèse des études portant sur l'utilisation de système de d'oxydation photocatalytique (OPC) pour le maintien de la QAI</b> .....	<b>77</b>



## Liste des sigles et acronymes

~	Environ
ACSP	Association canadienne de santé publique
AHAM	Association of Home Appliance Manufacturers
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (France)
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BTEX	Groupe de COV qui comprend le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes
CADR	<i>Clean air delivery rate</i>
CAH	Changement d'air à l'heure
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CITC	Curry International Tuberculosis Center
cm <sup>2</sup>	Centimètre carré
CNB	Code national du bâtiment
CNRC	Conseil national de recherches Canada
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
COSV	Composé organique semi-volatile
COV	Composé organique volatil
°C	Degré Celcius
DSPublique	Direction de santé publique
e <sup>±</sup> cm <sup>-3</sup>	Électron par centimètre cube
eCAH	Équivalent changement d'air à l'heure
ESEI	Équipe scientifique sur l'environnement intérieur (INSPQ)
eV	Électron-volt
h	Heure
H <sub>2</sub> O	Eau
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
HEPA	<i>High efficiency particulate air</i>
HO <sub>2</sub>	Ion hyperoxyde
HR	Humidité relative
IGUV	Irradiation germicide aux ultraviolets
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
K	Kelvin
kW	Kilowatt

m <sup>3</sup> /h	Mètre cube par heure
MERV	<i>Minimum efficiency reporting value</i>
µg/g	Microgramme par gramme
µLED	Microlampe à diode électroluminescente
min	Minute
mW	Million de watts
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
nm	Nanomètre
NO	Monoxyde d'azote
NO <sub>2</sub>	Dioxyde d'azote
NO <sub>x</sub>	Oxydes d'azote
O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Ion superoxyde
O <sub>3</sub>	Ozone
OH <sup>-</sup>	Ion hydroxyle
OMS	Organisation mondiale de la Santé
OPC	Oxydation photocatalytique
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur (France)
Pi <sup>2</sup>	Pied carré
Pi <sup>3</sup>	Pied cube
PM	Particules fines ( <i>particulate matter</i> )
PM <sub>2,5</sub>	Particules fines ( <i>particulate matter</i> ) de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres
ppb	Partie par milliard
ppm	Partie par million
QAI	Qualité de l'air intérieur
s	Seconde
SVC	Système de ventilation centralisé
TiO <sub>2</sub>	Dioxyde de titane
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UL	Underwriters Laboratories
ULPA	<i>Ultra-low particulate air</i>
UV	Ultraviolets
UVA	Ultraviolets A
UVC	Ultraviolets C
UVV	Ultraviolets V
VRC	Ventilateur récupérateur de chaleur
VRE	Ventilateur récupérateur d'énergie

## Faits saillants

La présence accrue sur le marché d'une panoplie de dispositifs d'épuration de l'air intérieur suscite de nombreuses questions auprès des instances de santé publique. L'assainissement de milieux intérieurs par l'entremise de dispositifs d'épuration devrait être considéré comme une mesure de gestion de dernier recours lorsque, par exemple, les conditions du milieu, le contexte environnemental ou les occupants ne peuvent assurer le maintien d'une bonne qualité de l'air intérieur. Or, bien que l'utilisation de tels dispositifs en milieux résidentiels soit de plus en plus répandue, les impacts environnementaux et sanitaires qui en découlent ont été jusqu'à ce jour peu documentés.

En réponse à une demande de la Direction de santé publique de l'Estrie (DSPublique05), l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) a effectué une revue de la littérature portant sur l'efficacité et l'innocuité des principaux types de dispositifs épurateurs utilisés en milieux résidentiels.

De façon plus spécifique, la recherche documentaire portait sur :

- les technologies disponibles;
- leur efficacité;
- leurs modalités d'utilisation;
- leurs effets potentiels sur la qualité de l'air intérieur et la santé;
- les contextes où leur utilisation devrait être favorisée ou, à l'inverse, proscrite.

Les résultats de cette revue ont permis de démontrer :

- qu'aucune technologie d'épuration commercialisée à ce jour n'est en mesure de compenser à elle seule les avenues de gestion de base (ou fondamentales) de la qualité de l'air intérieur que sont le contrôle des contaminants à la source et la ventilation optimisée;
- que les preuves concernant le rendement et l'innocuité de plusieurs technologies demeurent incomplètes, et il s'avère hasardeux de porter un jugement objectif au regard de leur efficacité relative en raison de la grande variété de devis d'évaluation utilisés dans les études consultées;
- qu'il existe très peu d'études soigneusement réalisées portant sur les associations entre l'utilisation de dispositifs d'épuration de l'air intérieur et la santé humaine. Les seules études répertoriées jugées rigoureuses concernant cet aspect portent sur la filtration HEPA (*high efficiency particulate air*), certaines d'entre elles étant concluantes.

En dépit de ces éléments d'information fragmentaires, plusieurs auteurs affirment néanmoins que lorsqu'il s'avère contraignant, voire impossible d'obtenir un maintien acceptable de la qualité de l'air intérieur, l'utilisation de certains dispositifs d'épuration, disposés dans des systèmes centralisés ou portables, peut s'avérer utile pour diminuer les concentrations de certains contaminants présents en milieu intérieur. En somme, les médias filtrants haute efficacité (HEPA) et adsorbants (filtres et cartouches de charbon activé) sont considérés par plusieurs auteurs comme des avenues de gestion d'intérêt pour atténuer une variété de contaminants présents en milieux intérieurs.

L'analyse des mécanismes de captation, d'élimination ou de transformation des contaminants impliqués dans les technologies d'épuration, de même que l'évaluation de leurs effets sur la santé des occupants, constituent d'importantes avenues de recherche pour élucider cette question et en cerner tous les enjeux.



## Sommaire

### Mise en contexte

Des dispositifs de traitement de l'air intérieur de plus en plus sophistiqués sont maintenant disponibles sur le marché afin de pallier certains problèmes de détérioration de la qualité de l'air intérieur (QAI) occasionnés par la présence d'humidité excessive, d'allergènes, de particules en suspension, d'odeurs indésirables, etc. Bien qu'attrayante, cette offre croissante suscite de nombreuses questions quant à l'efficacité et à l'innocuité de ces dispositifs d'épuration.

En 2017, l'utilisation d'un système d'épuration de l'air intérieur faisant appel à la technologie de photocatalyse, suite à un incendie dans un immeuble résidentiel, avait amené les occupants à se renseigner auprès de la Direction de santé publique de l'Estrie quant aux risques potentiels associés à cette pratique. Alors que cette direction de santé publique a fait retirer les dispositifs des lieux, l'existence d'un possible lien causal entre l'utilisation prolongée d'une telle technologie destinée à l'atténuation des odeurs indésirables et le développement de symptômes chez les occupants demeurait une question en suspens. C'est dans ce contexte que la direction de santé publique a interpellé l'Institut national de santé publique du Québec afin d'éclairer les représentants de l'instance de santé publique régionale sur ce lien potentiel.

Afin de dresser un portrait global des technologies existantes et de répondre à de potentielles demandes susceptibles de concerner d'autres technologies de purification de l'air, l'Institut national de santé publique du Québec l'institut a pris l'initiative de réaliser une recherche documentaire. Ces derniers ont d'abord effectué une recension des écrits portant sur les technologies disponibles puis, à la lumière des données probantes recueillies, ont décrit leur efficacité à réduire la présence de contaminants en milieux intérieurs, leurs effets potentiels sur la QAI et la santé ainsi que les contextes où l'utilisation de tels appareils devrait être favorisée ou proscrite. À terme, cette analyse devait permettre aux intervenants de santé publique et aux autres professionnels concernés d'articuler certaines recommandations quant aux modalités d'utilisation des dispositifs d'épuration de l'air intérieur en milieu résidentiel.

### Méthodologie

La stratégie de recherche bibliographique a été amorcée par le biais de l'élaboration d'un bordereau de recherche qui a permis de décliner un certain nombre de concepts décrits par une série de mots-clés. Les concepts associés à la problématique abordée dans le présent document étaient les suivants :

1. contaminants (qualité de l'air, odeur, désodorisation, sinistre, incendie, fumée, inondation et autres éléments associés);
2. air intérieur (résidence, habitation, logement et autres éléments associés);
3. épuration (épurateur d'air portable et autres équipements associés).

Cette stratégie de recherche a ensuite été appliquée aux interfaces de recherche *OvidSP* et *EBSCOhost* à la fin novembre 2017. À partir des 2 480 articles identifiés par le biais de la démarche de recherche documentaire, des analyses de pertinence appliquées aux titres puis aux résumés de ces articles ont permis de retenir 82 documents issus de la base bibliographique *MedLine* ainsi que 68 documents en provenance de la base bibliographique *Environment Complete*. La majorité des 150 documents jugés pertinents étaient des études originales (soit 135) alors que la fraction complémentaire (soit 15) était des revues comparatives ou des synthèses de la littérature. Parallèlement à la revue de la littérature scientifique effectuée, un survol de la littérature grise (ex. :

mémoires, thèses, rapports et documents techniques révisés ou non par des pairs) a été entrepris afin d'assembler les éléments utiles à la rédaction des différents sujets couverts. Ce sont 38 documents techniques pertinents qui ont été identifiés et retenus dans la foulée de ce survol, dont certains par l'approche « boule de neige » (*snowballing*).

## Résultats et discussion

Les contaminants retrouvés dans les milieux intérieurs peuvent provenir de sources domestiques très variées telles que les panneaux de bois contreplaqués ou agglomérés, les peintures, les vernis et les revêtements synthétiques, la combustion de matière organique (bois, tabac, aliments), les infiltrations de gaz souterrains, etc. Il est également reconnu que les occupants eux-mêmes, notamment par leurs comportements, peuvent affecter la qualité de l'air de façon importante. Des sinistres tels qu'incendies, dégâts d'eau, déversements de produits chimiques ou des événements climatiques extrêmes (épisodes de smog, feux de forêt, inondations) peuvent aussi contribuer à cette dégradation. L'exposition à ces contaminants de l'air intérieur, parfois retrouvés en fortes concentrations dans certains milieux résidentiels, est reconnue pour avoir des effets sur la santé des occupants.

Trois approches complémentaires sont préconisées par un nombre croissant d'organismes pour maintenir une bonne QAI : 1) le **contrôle à la source**, qui consiste à limiter l'émission et la dispersion des contaminants dans l'air intérieur en appliquant différentes mesures telles que l'utilisation de matériaux et de produits d'entretien ou d'ambiance peu émissifs, l'utilisation adéquate des ventilateurs d'extraction et l'entreposage adéquat des produits chimiques domestiques; 2) la **ventilation** adéquate des pièces habitables qui permet d'évacuer l'air vicié des environnements intérieurs occupés et d'y introduire de l'air frais afin de diluer la charge de contaminants présente; 3) l'**épuration de l'air**, mesure généralement considérée comme facultative et complémentaire aux approches précédentes et qui peut, dans certaines situations, contribuer à l'amélioration de la QAI.

Les procédés d'épuration de l'air intérieur actuellement disponibles sur le marché peuvent être intégrés à des systèmes de conditionnement de l'air (chauffage ou climatisation) centralisés, à des systèmes de ventilation centralisés (SVC) ou mixtes (chauffage ou climatisation + ventilation) et à des unités portables. En dépit du type de technologie utilisée et de la nature des contaminants ciblés, certains auteurs rapportent qu'un dispositif donné ne peut offrir un rendement d'épuration acceptable que si un ensemble de facteurs est considéré, tels l'efficacité et la capacité du dispositif, son emplacement à l'intérieur du bâtiment, ses modalités d'utilisation ainsi que l'observance de son entretien. En marge de ces aspects généraux, des informations pertinentes (description du procédé, facteurs à considérer, rendement et bénéfices) ont également été assemblées au regard de huit technologies d'épuration distinctes, soit : la filtration mécanique, l'adsorption, la captation électrostatique, l'ionisation, l'ozonation, le plasma, le rayonnement ultraviolet (UV) et la photocatalyse.

À l'instar des récentes revues de la littérature effectuées par des organismes reconnus telles l'Agence nationale française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES, 2017) et l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2018), les auteurs du présent ouvrage ont identifié très peu d'études dont la conception est suffisamment robuste pour recommander systématiquement l'usage d'une technologie en particulier. En effet, à l'heure actuelle, leur efficacité et leur innocuité (au regard de la santé humaine) ne peuvent être démontrées de façon incontestable. Exception faite de certaines études portant sur la filtration haute efficacité (HEPA), qui s'appuie sur de solides devis, l'état actuel des connaissances ne permet pas de démontrer l'efficacité des autres technologies dans des contextes d'occupation réelle. L'absence de programme de certification indépendant s'appuyant sur des critères objectifs et

rigoureux ne permet pas d'affirmer qu'une technologie ou qu'un dispositif spécifique possède un rendement supérieur à un autre. Bien que certains programmes de standardisation supportés par des organismes crédibles et indépendants existent, l'adhésion des manufacturiers à ces derniers ne s'avère pas obligatoire.

Il faut toutefois souligner qu'il existe certaines données expérimentales concluantes portant sur les associations entre l'utilisation de dispositifs d'épuration de l'air intérieur et les effets sur la santé humaine. Celles-ci portent majoritairement sur l'atténuation des symptômes d'allergie, de l'asthme et des biomarqueurs de maladies coronariennes par le biais de l'utilisation de dispositifs de filtration HEPA. Les résultats de certaines études ont en effet démontré une diminution significative des symptômes éprouvés par des individus asthmatiques lorsqu'un dispositif de filtration était utilisé pour fournir de l'air assaini dans la zone respirable de ces derniers. Certaines données ont également été publiées au regard de l'utilisation des médias adsorbants, tel le charbon activé, qui sous-tendent que cette technologie serait plus efficace que d'autres pour contrôler les composés organiques volatils (COV) en milieu intérieur, dont certains sont responsables d'irritations ou encore d'inconforts olfactifs.

À la lumière de l'analyse des informations rapportées dans les études recensées, il semble que la filtration HEPA pourrait s'avérer une approche utile pour atténuer une vaste gamme de contaminants particulaires, microbiologiques et gazeux en milieu résidentiel lorsque celle-ci est adéquatement utilisée. L'application de ce type de mesure de gestion environnementale pourrait d'ailleurs s'avérer utile dans le cadre de la mise en place d'une stratégie intégrée de réduction de l'exposition aux contaminants de l'air intérieur.

## **Conclusion**

Sur la base de l'ensemble des informations répertoriées lors du présent exercice, il appert qu'aucune technologie ou aucun appareil d'épuration commercialisé à ce jour n'est en mesure de compenser à lui seul les avenues de gestion de base (ou fondamentales) de la QAI que sont le contrôle des contaminants à la source et la ventilation optimisée. En effet, la revue de la littérature effectuée n'a permis d'assembler qu'un nombre limité de données probantes concernant la capacité d'épuration (relative ou combinée) de certaines technologies appliquées au traitement de l'air intérieur. Les seules études répertoriées jugées rigoureuses concernant cet aspect portent sur la filtration HEPA.

En dépit de ces éléments d'information fragmentaires, plusieurs auteurs affirment néanmoins que lorsqu'il s'avère contraignant, voire impossible d'appliquer simultanément les deux mesures de gestion fondamentales précédemment citées, l'utilisation de certains dispositifs d'épuration peut s'avérer utile pour diminuer les concentrations de certains contaminants présents en milieu intérieur. En somme, les médias filtrants haute efficacité et adsorbants sont considérés par plusieurs auteurs comme des avenues de gestion prometteuses pour atténuer une variété de contaminants présents en milieux intérieurs. Le choix de faire usage ou non de tels dispositifs d'épuration demeure toutefois difficile à établir et leur déploiement en milieu résidentiel occupé implique minimalement une analyse rigoureuse des avantages et des inconvénients.



## 1 Mise en contexte

La question de l'efficacité et de l'innocuité des dispositifs d'épuration de l'air intérieur est non seulement une source d'interrogations, mais également de préoccupations auprès de certains occupants, propriétaires et gestionnaires de bâtiments résidentiels. Des dispositifs de traitement de l'air intérieur de plus en plus sophistiqués sont maintenant disponibles sur le marché afin de favoriser une bonne épuration des milieux intérieurs et de pallier certains problèmes de détérioration de la qualité de l'air intérieur (QAI) occasionnés par la présence d'humidité excessive, d'allergènes, d'odeurs indésirables, etc. Bien que certains de ces dispositifs commerciaux soient conçus pour être déployés dans des contextes postsinistres (incendie, dégât d'eau, déversement de produits chimiques), ses technologies peuvent également être mises à profit dans une variété grandissante d'appareils d'épuration domestiques.

Le présent document vise à effectuer un survol des équipements ainsi que des technologies de traitement et d'épuration de l'air intérieur disponibles sur le marché, tout en apportant des précisions sur la façon de les utiliser et sur leur efficacité au regard de la QAI. De plus, des informations portant sur les bénéfices sanitaires ainsi que sur les risques environnementaux potentiels que ces dispositifs peuvent engendrer ont été rapportées lorsque disponibles.

### 1.1 Intervention à l'origine de la demande adressée à l'INSPQ

---

Au mois de septembre 2017, un incendie a nécessité l'évacuation des locataires d'un immeuble d'habitation situé à Granby. Malgré les importants dommages survenus dans l'une des sections du bâtiment, les 28 locataires occupant 14 logements situés dans la partie intacte de l'édifice à logements ont obtenu l'autorisation de réintégrer leur domicile par les responsables du service d'incendie municipal.

Plus de trois semaines après l'incendie (soit en octobre 2017), la Direction de santé publique de l'Estrie (DSPublique05) a été interpellée par un résident de cet immeuble aux prises avec des symptômes respiratoires autorapportés. Ce dernier a également indiqué que d'autres locataires présentaient des symptômes similaires. Un questionnaire a alors été administré aux occupants par l'équipe de la DSPublique05, les résultats de celui-ci confirmant que la majorité des occupants souffraient de symptômes irritatifs aux yeux et aux voies respiratoires supérieures et inférieures. Alors que certains occupants ont rapporté avoir éprouvé des maux de tête et des nausées, des symptômes de type « bronchospasme » ont été objectivés par un médecin chez au moins un résident. Selon les propos de certains résidents, l'intensité de ces symptômes était en progression depuis l'incendie.

La cause des symptômes rapportés par les résidents demeure jusqu'à ce jour indéterminée, mais des questionnements ont été émis concernant l'utilisation d'appareils destinés à l'atténuation des odeurs indésirables par une firme de gestion des sinistres. Cinq appareils à oxydation photocatalytique ont été déployés sur les trois étages du bâtiment. Ces appareils portatifs ont été utilisés en continu sur une période de 14 jours en présence des occupants, soit du 28 septembre au 12 octobre 2017. La DSPublique05 a pris la décision d'interrompre le fonctionnement de ces appareils et de les faire retirer du bâtiment sinistré dès le début de l'évacuation préventive de 72 h. Équipés d'une lampe ultraviolette (UV; 365 nanomètres [nm]), d'un médium catalyseur enrichi au dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>) et d'un puissant ventilateur, les appareils sont théoriquement conçus pour assainir l'air intérieur en décomposant les composés organiques odorants en constituants élémentaires inodores (voir section 3.4.8).

## 1.2 Mandat confié à l'INSPQ par la DSPublique de l'Estrie

---

La question à l'origine du mandat de recherche était la suivante : l'utilisation prolongée des systèmes destinés à l'atténuation des odeurs indésirables (c.-à-d. oxydation photocatalytique) peut-elle contribuer à la détérioration de la QAI et, incidemment, au développement de symptômes d'irritations, de maux de tête et de nausées chez les occupants? Alors que l'utilisation d'un tel système dans un contexte postsinistre peut s'avérer utile pour réduire les inconforts olfactifs, des questionnements demeurent quant à l'innocuité d'une telle pratique dans un bâtiment habité. En marge des systèmes impliqués, il est à noter que d'autres technologies alternatives ou combinées peuvent être utilisées afin d'atténuer les inconforts olfactifs en milieux intérieurs. Par ailleurs, le choix d'une technologie efficace et sécuritaire de même que les modalités d'utilisation en milieux résidentiels habités soulèvent des interrogations chez les intervenants de santé publique.

C'est dans ce contexte que la DSPublique05 a interpellé les membres de l'Équipe scientifique sur l'environnement intérieur (ESEI) de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) afin qu'ils effectuent une recherche documentaire et une analyse subséquente des dispositifs d'épuration de l'air intérieur et d'atténuation des odeurs indésirables en procédant à une description :

- des technologies disponibles;
- de leur efficacité;
- des modalités d'utilisation;
- de leurs effets potentiels sur la QAI et la santé;
- des contextes où l'utilisation de tels appareils devrait être favorisée ou proscrite.

À terme, cette analyse vise à permettre aux professionnels et aux médecins concernés d'articuler certaines recommandations quant aux modalités d'utilisation des dispositifs d'épuration de l'air intérieur en situation postsinistre ou dans toute autre situation où ce type de dispositif pourrait s'avérer utile et efficace.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Littérature scientifique

#### 2.1.1 BORDEREAU DE RECHERCHE

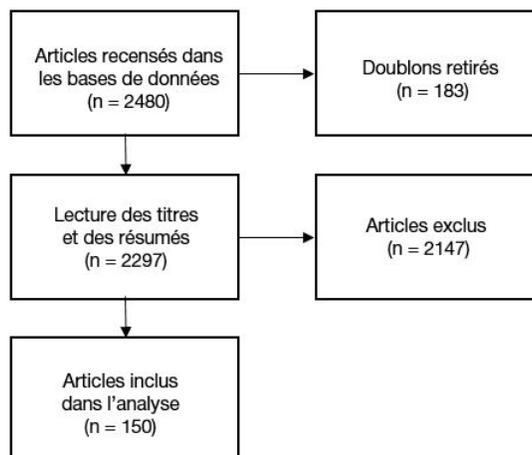
La revue de la littérature a été amorcée par l'élaboration d'un bordereau de recherche préparé avec l'appui d'une professionnelle spécialisée en recherche documentaire de l'INSPQ. Ce bordereau a permis aux auteurs de croiser un certain nombre de concepts décrits par une série de mots-clés. Les concepts associés à la problématique abordée dans le présent document étaient les suivants :

- contaminants (qualité de l'air, odeur, désodorisation, sinistre, incendie, fumée, inondation, et autres éléments associés);
- air intérieur (résidence, habitation, logement et autres éléments associés);
- épuration (épurateur d'air portable et autres équipements associés).

La stratégie de recherche déclinée dans le bordereau (voir Annexe 1) a été appliquée aux interfaces de recherche *OvidSP* et *EBSCOhost*. De façon plus spécifique, la base bibliographique *MedLine* a été consultée à partir de la plateforme de recherche *OvidSP* alors que la base bibliographique *Environment Complete* a été consultée à partir de la plateforme *EBSCOhost*. La stratégie de recherche documentaire a été lancée à la fin novembre 2017.

À partir des 2480 articles identifiés par le biais de la démarche de recherche documentaire (*Medline* = 981; *Environment Complete* = 1499), une analyse de pertinence a été effectuée sur la base du titre et du résumé. À la suite du retrait des doublons et à la réalisation de cette analyse, 82 documents issus de la base bibliographique *MedLine* ont été retenus ainsi que 68 documents en provenance de la base bibliographique *Environment Complete*. La majorité des 150 documents jugés pertinents, soit 135, était des études originales alors que la fraction complémentaire (15) était des revues ou des synthèses de la littérature.

**Figure 1 Diagramme de flux**



### 2.1.2 CRITÈRES D'EXCLUSION

Les résumés des documents retenus ont été analysés afin de ne pas conserver les articles jugés non pertinents sur la base des critères d'exclusion suivants :

- articles rédigés dans une autre langue que le français ou l'anglais;
- articles ne traitant pas :
  - de dispositifs d'épuration de l'air intérieur;
  - de milieux résidentiels ou mixtes (bâtiments recevant du public);
- articles traitant :
  - de dispositifs centralisés ou intégrés à des systèmes de ventilation mécanique;
  - de la recherche et du développement expérimental de nouvelles technologies d'épuration.

Alors que le critère linguistique a été retenu en raison des connaissances limitées des ressources impliquées au regard des langues étrangères, les autres critères d'exclusion ont été désignés afin de limiter la recherche sur le thème **des dispositifs d'épuration de l'air intérieur en milieu résidentiel**. Il est à noter qu'aucun critère d'exclusion relatif à la période de publication n'a été appliqué lors de la réalisation de la présente revue de la littérature, compte tenu de l'intérêt relativement récent que revêtent ces technologies.

## 2.2 Littérature complémentaire

---

Parallèlement à la revue de la littérature effectuée à partir de critères de recherche spécifiques qui répondent aux thèmes du mandat, un survol de la littérature scientifique et grise (ex. : mémoires, thèses, rapports et documents techniques révisés ou non par des pairs) a été entrepris afin d'assembler les éléments utiles à la rédaction des différents sujets couverts. Cette recherche a été réalisée à l'aide :

- des listes de références des articles scientifiques et des rapports préalablement identifiés par l'entremise de la recherche bibliographique;
- de recherches par les moteurs de recherche usuels (Google et Google Scholar à partir de mots-clés contenus dans les titres des rapports pertinents);
- des sites Internet des organismes concernés.

Pour être retenus, les documents consultés devaient répondre aux critères suivants :

- contenir des informations pertinentes en lien avec la problématique;
- provenir d'organismes gouvernementaux et paragouvernementaux ou d'équipes universitaires reconnues.

En ce qui concerne ce second volet de la recherche documentaire, seules les informations pertinentes provenant de documents récents (voire toujours en vigueur en ce qui concerne les codes et standards) ont été retenues et intégrées au présent ouvrage. Ce sont 38 documents techniques pertinents issus de la littérature grise qui ont été retenus par le biais de cette revue littéraire complémentaire.

## 3 Résultats de la revue de la littérature

### 3.1 Maintien de la qualité de l'air intérieur

---

#### 3.1.1 ORGANISMES COMPÉTENTS

Le concept de QAI peut être défini de nombreuses façons (ex. : Organisation mondiale de la Santé [OMS], 2005). En Amérique du Nord, les organismes compétents œuvrant dans le domaine du bâtiment se réfèrent toutefois à la définition articulée par l'ASHRAE et explicitée dans son Standard 62.1 (ASHRAE, 2016). Celui-ci rapporte que l'air intérieur est de bonne qualité lorsqu'il n'est pas contaminé par des substances reconnues néfastes ou délétères pour les occupants à des concentrations supérieures aux critères édictés par les autorités compétentes et dont les paramètres de confort répondent aux exigences de la majorité des occupants (soit 80 % et plus).

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) en France affirme que, dans certaines situations, la concentration de contaminants présents dans les environnements intérieurs peut être de 5 à 7 fois supérieure à la concentration de polluants retrouvés dans l'air extérieur (OQAI, 2018). Compte tenu du fait que la population des pays occidentaux séjourne en moyenne 90 % de son temps dans des milieux intérieurs, l'exposition aux contaminants de cet environnement constitue une préoccupation de santé publique pour les organismes internationaux, nationaux et provinciaux (Gouvernement du Canada, 2016a; Gouvernement du Québec, 2019; OMS, 2018).

#### 3.1.2 APERÇU DES SOURCES DE CONTAMINANTS ET DE LEURS EFFETS À LA SANTÉ

Les contaminants retrouvés dans les milieux intérieurs peuvent provenir de sources domestiques très variées (Cincinelli et Martellini, 2017), telles que les panneaux de bois contreplaqués ou agglomérés, les peintures, les vernis et les revêtements synthétiques, la combustion de matière organique (bois, tabac, aliments), les infiltrations de gaz souterrains, etc. (Samet *et al.*, 1987). Il est également reconnu que les occupants eux-mêmes, notamment par leurs comportements, peuvent affecter la QAI de façon importante (Heudorf *et al.*, 2009; Hospodsky *et al.*, 2012; Gaihre *et al.*, 2014). L'avènement de sinistres (incendies, dégâts d'eau, déversements de produits chimiques) ou d'événements climatiques extrêmes (épisodes de smog, feux de forêt, inondations) peut aussi contribuer à la dégradation de la QAI. À titre d'exemple, les incendies sont reconnus pour produire des particules fines et ultrafines, des suies ainsi qu'une variété de composés organiques volatils (COV) et semi-volatils (COSV) issus de l'oxydation thermique de matériaux combustibles. Les dégâts d'eau qui ne sont pas pris rapidement en charge peuvent, pour leur part, engendrer des problèmes d'humidité excessive pouvant favoriser la croissance et la prolifération de moisissures et d'espèces fongiques.

L'exposition à ces contaminants de l'air intérieur, parfois retrouvés en fortes concentrations dans certains milieux résidentiels, est reconnue pour avoir des effets sur la santé des occupants. Elle peut provoquer des effets aigus, tels qu'une irritation de la sphère oto-rhino-laryngologique (ex. : dioxyde d'azote [NO<sub>2</sub>]), des maux de tête ou d'autres symptômes neurologiques comme la somnolence (ex. : dioxyde de carbone [CO<sub>2</sub>]). Elle peut également engendrer des effets chroniques comme exacerber les symptômes de l'asthme (ex. : spores et moisissures, pollens et autres allergènes), causer des problèmes respiratoires, favoriser le développement de cancers (ex. : acétone, BTEX, radon), voire les deux (ex. : particules fines, formaldéhyde) (Lajoie *et al.*, 2006).

Les lecteurs intéressés à en connaître davantage sur les sources des contaminants usuellement retrouvés en milieux intérieurs et leurs effets potentiels sur la santé des occupants sont invités à consulter Levasseur et Leclerc (2017).

### 3.1.3 APPROCHE DE GESTION PRÉCONISÉE

Trois approches complémentaires sont généralement préconisées pour maintenir une bonne QAI (Kusek, 2005; Levasseur *et al.*, 2017; Luengas *et al.*, 2015; Sherman et Matson, 2003; Siegel, 2016; U.S. EPA, 2008, 2009, 2014a). Le **contrôle à la source** des contaminants constitue la principale mesure recommandée. Elle consiste à réduire les émissions et à limiter la dispersion des contaminants dans l'air intérieur en appliquant différentes mesures telles que l'utilisation ou la mise en place de matériaux peu émissifs, l'utilisation adéquate des ventilateurs d'extraction (hotte de cuisine et ventilateur de salle de bain), l'entreposage adéquat des produits chimiques domestiques (peinture, solvant, carburant) et l'étanchéisation accrue des bâtiments (élimination des points d'infiltration de l'enveloppe du bâtiment).

Ensuite, une **ventilation** adéquate des milieux habités est largement recommandée par les instances sanitaires. Cette mesure, aussi efficace que polyvalente, lorsque bien appliquée, permet d'évacuer l'air vicié des environnements intérieurs occupés et d'y introduire de l'air frais et ainsi d'y diluer la charge de contaminants présente. Alors que l'aération régulière des milieux occupés (ouverture volontaire des fenêtres) peut, dans certaines circonstances, constituer une stratégie de ventilation efficace (Lei *et al.*, 2017), l'utilisation combinée d'un système de ventilation mécanique et d'une unité de récupération de chaleur (VRC) ou d'énergie (VRE) offre des avantages supplémentaires, permettant notamment de réaliser des économies d'énergie tout en assurant le maintien d'une bonne QAI (Sultan, 2011). Il est à noter que cette mesure ne peut s'avérer utile que si l'air frais introduit dans les espaces occupés est lui-même de bonne qualité, situation assumée d'emblée dans de nombreux secteurs bâtis. Dans le cas où l'air extérieur est contaminé de façon ponctuelle (ex. incendie de forêt), la mise à l'abri (ou confinement temporaire) des personnes concernées peut s'avérer une solution acceptable. D'un autre côté, si l'épisode de contamination perdure (ex. bâtiment à proximité d'une autoroute ou d'une usine), l'application de la troisième mesure de maintien de la QAI, soit l'**épuration de l'air**, pourrait s'avérer alors utile selon les situations (Barn *et al.*, 2008, 2016; Fisk et Chan, 2017; Levasseur *et al.*, 2017; Seppanen et Fisk, 2004; Sherman et Matson, 2003; U.S. EPA, 2008, 2009, 2014a). La purification de l'air intérieur, mesure généralement considérée comme complémentaire aux approches précédentes, peut dans certaines situations contribuer significativement à l'amélioration de la QAI (Barn, 2010; Burton, 2006; Chen *et al.*, 2005; Fox, 1994; Joffe, 1996; Lanphear *et al.* 2011; Luengas *et al.*, 2015; Sherman et Matson, 2003; Shaughnessy et Sextro, 2006; U.S. EPA, 2008). Il faut souligner que cette troisième mesure devrait toujours être utilisée en concomitance avec la ventilation mécanique et lorsque les sources d'émission de contaminants peuvent être difficilement contrôlées (Fox, 1994; Kusek, 2005; Nelson *et al.*, 1988).

La purification de l'air doit toutefois être utilisée avec discernement et en toute connaissance de cause, car aucune technologie abordable et utilisable en milieu résidentiel n'est actuellement en mesure d'éliminer l'ensemble des contaminants particulaires, semi-volatils et gazeux potentiellement présents dans l'air en milieux intérieurs (ANSES, 2017; Shaughnessy et Sextro, 2006). De plus, certaines technologies sont susceptibles de générer des produits secondaires, dont certains peuvent être nuisibles pour la santé des occupants (Zhang *et al.*, 2011) (voir section 3.4 pour une description détaillée).

### 3.2 Modes d'application des techniques d'épuration

Les technologies de traitement de l'air intérieur peuvent être intégrées à des systèmes de ventilation centralisés (SVC) ou mixtes (conditionnement + ventilation), dans des systèmes de purification portables ou être incorporés à des matériaux et produits de décoration communément rencontrés en milieux résidentiels (ex. : tapisserie photo-active) (ANSES, 2017; Fox, 1994; Hoffman, 2004; Sultant *et al.*, 2011; U.S. EPA, 2014a). Les dispositifs d'épuration de l'air intégrés au système de ventilation centralisé ou mixte sont généralement installés dans les conduits de retour, et ce, afin de protéger les équipements mécaniques complémentaires s'y trouvant (ventilateur, noyau thermique ou enthalpique, serpentin de chauffage, etc.). Dans sa configuration la plus simple, un filtre à particules (ex. : MERV 8; voir section 3.4.1) est disposé dans la conduite pour accroître la performance à long terme du système. Bien que ces filtres ne sont généralement pas conçus pour améliorer la QAI, certains SVC peuvent être optimisés en y installant, par exemple, un filtre plus performant (ex. : MERV 12), conçu pour retenir des particules de plus petite taille. D'autres dispositifs de purification de l'air, tels qu'un filtre électrostatique ou une lampe UV, peuvent également être utilisés dans les conduits des SVC présents dans les bâtiments résidentiels, commerciaux ou institutionnels (U.S. EPA, 2014a).

Les purificateurs d'air portables (incluant ceux précisés en prémisses de ce document; voir section 1.2) sont quant à eux disponibles sous la forme de petites unités de table et de plus grandes unités intégrées dans des consoles mobiles. Ils sont utilisés pour nettoyer l'air de secteurs très circonscrits d'un bâtiment afin de limiter la portée de certaines sources de contaminants ou d'assainir l'air d'une pièce donnée. Alors que ceux-ci ne sont généralement pas conçus pour épurer l'air intérieur d'un domicile dans sa totalité, ce type d'unité peut être déplacé partout où l'assainissement d'un volume d'air circonscrit est nécessaire. Des unités de console de plus grande capacité peuvent également être utiles dans les habitations qui ne sont pas équipées de systèmes de conditionnement/épuration centralisés. Ces purificateurs d'air portatifs sont généralement pourvus d'un ventilateur mécanique (pour faire circuler l'air) et d'un dispositif d'assainissement de l'air. Certaines unités commercialisées pour leur fonctionnement plus silencieux peuvent être dépourvues de ventilateur; cependant, celles-ci sont généralement beaucoup moins efficaces que les unités qui en possèdent un. Certains purificateurs d'air peuvent également contenir un préfiltre destiné à capter les particules grossières ou encore une cartouche épuratrice pour contrôler les gaz odorants. Certains dispositifs portables, appelés « épurateurs d'air hybrides », utilisent une combinaison de deux ou de plusieurs technologies décrites à la section 3.4 (U.S. EPA, 2014a).

À l'heure actuelle, peu d'information est disponible relativement aux procédés d'épuration passifs intégrés à des matériaux résidentiels (ex. papier peint). Un nombre très limité d'articles a été répertorié à ce sujet et ceux-ci concernent uniquement des approches mettant à profit la technologie de la photocatalyse (ex. : Bourgeois *et al.*, 2012; section 3.4.8). En revanche, les efforts de recherche concernant le développement de médiums d'épuration se poursuivent et pourraient éventuellement donner lieu à des produits qui, à l'instar des plantes d'intérieur (en association avec les bactéries qui se fixent sur leurs racines; voir Claudio, 2011), pourraient offrir une certaine capacité épuratrice au regard, par exemple, de certains COV (Guieysse *et al.*, 2008). Certains auteurs affirment ainsi que, dans un avenir plus ou moins lointain, des aménagements végétalisés conçus à cet effet seront non seulement en mesure de purifier l'air intérieur de façon efficace, mais également de fournir oxygène et humidité aux occupants qui pourront en bénéficier (Gould, 1999).

### 3.3 Rendement relatif des dispositifs d'épuration

---

En dépit du type d'appareil utilisé et de la nature des contaminants ciblés, Hoffman (2004) rapporte qu'un dispositif ne peut offrir un rendement d'épuration acceptable que si les éléments suivants sont considérés : l'efficacité du dispositif, sa capacité, l'échange d'air, l'emplacement et l'entretien.

**L'efficacité d'un dispositif** se réfère à sa propension à capter un contaminant de nature spécifique. L'efficacité est généralement exprimée en termes de masse ou de volume de contaminants extraits d'un volume d'air donné. Cette mesure peut être effectuée de différentes façons et demeure largement tributaire de la technologie utilisée.

**La capacité d'un dispositif** réfère pour sa part à sa propension à produire d'importants volumes d'air épuré pour une période de temps donnée. L'unité de mesure généralement utilisée pour évaluer la capacité d'un dispositif est le CADR ou le « *Clean air delivery rate* ». Cette unité de mesure, qui se rattache à une approche méthodologique standardisée développée par l'industrie, est utilisée pour quantifier les performances des systèmes d'épuration (voir ANSI et AHAM, 2015<sup>1</sup>). La cote CADR permet de caractériser la capacité de ces dispositifs sur la base de l'efficacité d'épuration de trois contaminants types de l'air intérieur, soit<sup>2</sup> : la fumée de tabac, les poussières et le pollen. La cote CADR est une comparaison entre le taux de captation d'un des contaminants types par le système de purification en opération par rapport au taux de captation du même contaminant lorsque le système est inopérant. Ce rapport de taux est multiplié par le débit volumique d'air traité par le système de purification, lequel est étroitement associé à la puissance du moteur. Ce type d'essai est généralement déterminé dans une chambre à émissions contrôlées (voir Molgaard *et al.*, 2014 et Shaughnessy et Sextro, 2006). En d'autres termes, le CADR correspond au volume d'air purifié (en pied cube/minute [ $\text{pi}^3/\text{min}$ ]) qu'un appareil peut délivrer sur la base des trois contaminants de référence. Par exemple, un CADR de 50 relativement à la fumée de tabac signifie que l'appareil peut délivrer 50  $\text{pi}^3$  d'air épuré (sans trace de produits de combustion du tabac) chaque minute.

**L'échange d'air** fait référence à la quantité d'air épuré produit dans un espace donné et sur une période d'une heure afin d'obtenir une QAI satisfaisante. Généralement exprimé en termes de changement d'air à l'heure (CAH), ce concept se réfère à un taux d'épuration tout en considérant le mélange d'air épuré avec l'air stagnant d'une pièce donnée. À titre d'exemple, les salles d'attente des milieux hospitaliers requièrent 12 CAH pour assurer une bonne QAI et minimiser les risques de transmission d'agents infectieux par le biais de l'air ambiant (Memarzadeh *et al.*, 2010). Par ailleurs, le Code québécois de sécurité pour les travaux de construction<sup>3</sup> recommande notamment l'application de 4 CAH sur les chantiers où des matières dangereuses sont manipulées (ex. : amiante), alors que le Code national du bâtiment (CNB, version 2015) prescrit l'application d'un taux minimum de 0,30 CAH en milieu résidentiel (CNRC, 2016).

**L'emplacement** du dispositif d'épuration doit par ailleurs être déterminé avec circonspection, car l'air propre généré par ces dispositifs doit d'une part générer un motif d'air circulaire autour du périmètre de la pièce et, d'autre part, pouvoir bénéficier aux personnes à protéger en les exposants au flux d'air épuré. En effet, les caractéristiques architecturales, mécaniques et environnementales (incluant le type d'occupation) de chaque milieu étant différentes, la localisation de l'appareil doit être soigneusement choisie pour optimiser ses performances.

---

<sup>1</sup> La procédure élaborée est soutenue par l'American National Standards Institute (ANSI) et l'Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM).

<sup>2</sup> Ces trois contaminants se distinguent par la taille des particules associées.

<sup>3</sup> [http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showversion/cr/S-2.1,%20r.%204?code=se:3\\_23\\_16&pointInTime=20161118](http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showversion/cr/S-2.1,%20r.%204?code=se:3_23_16&pointInTime=20161118).

**L'entretien** s'avère enfin un déterminant de premier plan à considérer pour assurer le maintien de performances optimales à moyen et à long terme des dispositifs d'épuration et de leurs composants. La United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA, 2014a) souligne que le type de contaminants à gérer de même que les coûts d'achat, d'installation (si installé sans un SVC), d'utilisation (électricité) et d'entretien (remplacement des filtres) doivent être soigneusement considérés avant même d'acquiescer un tel système.

Plusieurs fabricants et distributeurs de dispositifs d'épuration d'air présentent des informations pertinentes sur ces divers aspects dans les guides d'utilisation des appareils. Les utilisateurs potentiels de tels dispositifs devraient également être en mesure d'obtenir les renseignements pertinents concernant les modalités d'utilisation optimale des dispositifs d'épuration de l'air intérieur en contactant le service à la clientèle du fabricant.

### 3.4 Techniques d'épuration

---

Les sections qui suivent font état d'une revue sommaire des techniques d'épuration couramment utilisées en milieu résidentiel, en précisant la nature des contaminants de l'air intérieur ciblés par ces technologies, certains aspects relatifs à leur utilisation et à leur entretien, ainsi que leur performance au regard du maintien de la QAI et de la santé des occupants.

#### 3.4.1 FILTRATION MÉCANIQUE

##### Description du procédé

Comme suggéré par son appellation, la filtration mécanique consiste à capter les contaminants particulaires de l'air intérieur par le biais d'un média filtrant. La captation des particules en suspension s'effectue généralement à l'aide d'un ventilateur qui aspire ou propulse ces dernières à travers un média constitué de fibres naturelles, minérales ou synthétiques (Kudra, 1997). La densité, la disposition, l'homogénéité de même que la composition des fibres (ou mailles) constituant le média filtrant revêtent une influence majeure sur la capacité de rétention des contaminants (Lorimier *et al.*, 2008). Alors que l'efficacité de retrait des particules est davantage influencée par l'espace présent entre le réseau de fibres (soit le diamètre poral du filtre), le retrait des aérosols et d'autres particules de très petite taille est davantage favorisé par le mécanisme d'impaction induit par la vitesse du flux d'air turbulent (Hassen-Khodja et Dussault, 2007). Le choix des médias filtrants demeure ainsi un enjeu de premier plan et celui-ci doit s'articuler sur la base d'une variété de paramètres, dont l'efficacité spécifique recherchée (taille et type des particules à capter) ainsi que la perte de charge (résistance au flux d'air généré par le ventilateur) que les médias filtrants sont susceptibles d'imposer au système (Lorimier *et al.*, 2008). Lorsque de tels dispositifs sont employés adéquatement, la filtration constitue une stratégie peu coûteuse et efficace pour réduire les concentrations de contaminants particulaires, dont les allergènes et les irritants pulmonaires (spores de moisissures, pollens d'arbres ou de plantes, suies, poussières, etc.) (Sherman et Matson, 2003; Zhang *et al.*, 2011). Plusieurs auteurs rapportent que la filtration peut s'avérer une solution d'intérêt complémentaire à la ventilation lorsque la qualité de l'air extérieur n'est pas adéquate (Barn *et al.*, 2008 et 2016; Fisk et Chan, 2017; Seppanen et Fisk, 2004; Sherman et Matson, 2003; U.S. EPA, 2008, 2009, 2014a).

## Facteurs à considérer

Zhang *et al.* (2011) mentionnent que la consommation d'énergie, les inconforts auditifs et thermiques (généralement tributaires de l'emplacement du dispositif et de la puissance de son ventilateur) de même que les coûts d'entretien (ex. : remplacement des filtres) peuvent s'avérer contraignants pour certains utilisateurs de cette technologie. Il s'avère donc important de sélectionner un modèle dont les performances sont compatibles avec la dimension des pièces dans lesquelles des mesures de contrôle environnementales doivent être appliquées (Shaughnessy et Sextro, 2006; Wallace, 2008).

Outre le choix de l'appareil de filtration et de ses capacités à bas régime<sup>4</sup>, le choix des filtres compte parmi les éléments les plus susceptibles de moduler l'efficacité de ce type de dispositif. Afin d'attribuer un rang d'efficacité relatif à chaque média filtrant, la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) a élaboré en 1987 un système permettant de classer ceux-ci selon leur efficacité relative. Ce système porte le nom de « *minimum efficiency reporting value* », communément appelé « MERV ». La cote MERV s'échelonne de 1 à 20.

L'attribution d'une cote élevée signifie que le média est en mesure de capter les particules de plus faible dimension telles les PM<sub>2,5</sub> (particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres [ $\mu\text{m}$ ] ou particules ultrafines [diamètre inférieur ou égal à 0,1  $\mu\text{m}$ ]). Il est à noter que la dénomination HEPA (*high efficiency particulate air*) réfère à l'efficacité de filtration d'un médium qui, pour porter cette dénomination, doit être en mesure d'offrir un rendement de filtration de 99,97 % des particules fines tels les spores, les pollens et les bactéries (diamètre supérieur ou égal à 0,3  $\mu\text{m}$ ). Il est généralement assumé qu'un filtre portant la dénomination HEPA et ULPA (*ultra-low particulate air*) répond aux critères associés aux cotes MERV 17 à MERV 20 (Nelson *et al.*, 1988; voir également U.S. EPA, 2009 pour plus de détails).

Selon Rudnick (2004), le retrait de particules submicroniques de taille inférieure à 0,1  $\mu\text{m}$  devrait cependant être effectué à l'aide de médium filtrant présentant des caractéristiques particulières. Ce chercheur a démontré que les particules de cette taille (dont le comportement s'apparente à celui des aérosols ou des gaz) sont davantage affectées par le processus d'agrégation diffusive<sup>5</sup> que par la rétention mécanique. Rudnick (2004) soutient donc qu'il pourrait être avantageux d'utiliser un filtre d'efficacité moindre (ex. : MERV 12) mais d'une épaisseur plus importante pour capter de telles particules.

Selon Hassen-Khodja et Dussault (2007) et la U.S. EPA (2009), la performance des systèmes munis de filtres HEPA dépendrait de divers facteurs, tels que :

- la nature des aérosols dans l'air;
- la nature de la couche filtrante (composition, porosité, maillage, épaisseur, compacité, résistance mécanique et chimique);
- le débit d'air entrant;
- le degré d'obturation du filtre;
- les conditions environnementales (température et humidité de l'air).

---

<sup>4</sup> Le bas régime est généralement préféré des utilisateurs, car celui-ci s'avère moins bruyant et génère moins de courants d'air indésirables.

<sup>5</sup> Ou processus d'accumulation réversibles dont l'ampleur de l'amas est limitée par la diffusion.

L'utilisation d'un préfiltre [MERV] 7 offrant un rendement d'environ 30 %, suivi d'un filtre HEPA constituerait une combinaison théorique durable et efficace. En effet, l'utilisation d'un préfiltre de diamètre poral plus élevé que le filtre HEPA pourrait contribuer, dans des conditions d'utilisation dites « normales », à allonger la durée de vie utile de ce dernier. L'utilisation d'un préfiltre ou d'une cartouche constituée de charbon actif pourrait également être considérée pour atténuer les odeurs ainsi que les concentrations de COV présentes dans l'air ambiant (c.-à-d. toluène, hexane, dichlorométhane, formaldéhyde) (Shaughnessy et Sextro, 2006).

Les besoins d'entretien peuvent cependant s'avérer contraignants. En effet, il est généralement recommandé de remplacer le média filtrant tous les 6 à 12 mois, alors que le préfiltre devrait être nettoyé mensuellement. Il est particulièrement important d'observer cette recommandation si l'unité de filtration portable n'est pas équipée d'une minuterie, d'une jauge de pression ou d'autres systèmes électroniques témoignant de la durée totale d'utilisation de l'appareil, de l'obturation du filtre ou de son espérance de vie utile (Burton, 2006). Alors que l'accumulation de filtrat sur le média filtrant a pour effet d'augmenter son pouvoir de captation (réduction du diamètre des pores), le colmatage progressif de ses pores finit néanmoins par altérer ses performances (Fox, 1994; Siegel, 2016). De plus, lorsque ce type d'entretien n'est pas effectué selon les prescriptions du manufacturier, les médias filtrants souillés peuvent devenir des milieux propices à la contamination microbiologique (Clausen *et al.*, 2002) et entraîner une altération de la QAI (Clausen, 2004). Ce dernier chercheur supposait également que les filtres usés pouvaient être le siège de réactions chimiques oxydatives engendrant la production de composés azotés et de COV. Ce type de réaction est d'ailleurs rapporté par Beko *et al.* (2006), qui ont observé que l'ozone (O<sub>3</sub>) pouvait réagir avec les médiums filtrants pour former des produits de réaction secondaires susceptibles d'altérer la QAI. Il est également important de s'assurer que les filtres et préfiltres soient installés adéquatement. Une étanchéité défectueuse du système pourrait permettre à l'air vicié de contourner le média filtrant (phénomène du « *bypass* ») et de diminuer son efficacité et sa capacité théorique (Ferguson, 1995; Sublett, 2011).

### Rendement et bénéfices

Alors que plusieurs des études répertoriées portaient de façon générale sur la caractérisation du rendement des appareils munis de médias filtrants, un nombre important d'entre elles portait spécifiquement sur le rendement des filtres HEPA. Longtemps utilisé dans le milieu pharmaceutique, de la santé ainsi qu'en salle blanche<sup>6</sup>, ce type de filtre est maintenant couramment intégré à une variété de dispositifs d'épuration destinés aux usages domestiques. C'est ainsi que des chercheurs ont entrepris une série d'études portant sur l'évaluation des effets bénéfiques pouvant être observés chez les utilisateurs de tels dispositifs, et ce, tant en matière de réduction de l'exposition à certains contaminants particuliers que des bénéfices sanitaires corollaires attendus. Les constats généraux de ces études sont d'ailleurs compilés dans un tableau synthèse présenté à l'Annexe 2 et résumés dans les paragraphes suivants.

Comme rapporté dans les ouvrages consultés, les dispositifs de ventilation et d'épuration munis de filtres présentant une côte d'efficacité de moyenne à élevée (MERV 11 à 20 ou HEPA) permettent d'atténuer efficacement les concentrations d'une large gamme de contaminants particuliers, voire une fraction des aérosols présents en milieu intérieur. Ainsi, comme le rapportaient Sherman et Matson (2003) dans leur revue de la littérature, la filtration peut contribuer à diminuer l'ampleur de l'exposition à certains contaminants particuliers. Ils précisent notamment que l'atténuation des concentrations de particules allergènes (tels les pollens) peut être effectuée avec un filtre MERV 6-8

<sup>6</sup> Une salle blanche (ou salle propre) est une pièce où la concentration de contaminants est maîtrisée afin de minimiser l'introduction, la génération ou la rétention de particules à l'intérieur, généralement dans un but spécifique industriel ou de recherche.

alors que le retrait des spores et des plus petits pollens de l'air intérieur s'avère possible en utilisant un filtre MERV 9-12. Lorsque l'appareil le permet, l'utilisation d'un filtre MERV 11 installé sur un SVC est en mesure de diminuer la concentration d'allergènes d'acariens de 30 à 40 %. La filtration des suies et d'autres produits de combustion peut être effectuée en utilisant un filtre MERV 13 dans une proportion variant de 45 à 80 %.

En accord avec les études menées par Barn *et al.* (2008 et 2016), Fisk et Chan (2017) ont également démontré l'intérêt (soit le faible ratio coût-bénéfice) de l'utilisation de tels dispositifs pour atténuer les concentrations de particules fines dans les environnements intérieurs lors de la survenue de cas de feux de broussaille ou de forêt. L'utilisation de tels filtres est ainsi recommandée par certaines autorités américaines et canadiennes (dont le Manitoba, l'Alberta et l'Ontario) lorsque des feux de forêt sévissent dans une région donnée et que les résidents se voient dans l'obligation de demeurer à l'intérieur de leur résidence et de maintenir les portes et les fenêtres fermées (voir U.S. EPA, 2009 et Barn, 2016). Leur intégration à des systèmes portables ou centralisés doit toujours être effectuée en accord avec les directives du fabricant des appareils.

En ce qui a trait aux gains d'ordre sanitaire pouvant être encourus par le biais de l'utilisation de médias filtrants, plusieurs auteurs d'études originales rapportent que la filtration HEPA peut diminuer significativement l'incidence et la gravité de certains symptômes dus aux allergies et à l'asthme (Brown *et al.*, 2014; Butz *et al.*, 2011; Lanphear *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2017). Chen *et al.* (2015) ont également observé une diminution significative de la concentration moyenne des biomarqueurs de maladies coronariennes ainsi que des bénéfices cardiovasculaires (baisse de la pression systolique, diastolique et des concentrations de NO<sub>2</sub> exhalées) associés à la diminution de l'exposition aux PM<sub>2.5</sub>. Par ailleurs, Allen *et al.* (2011) ont observé que la filtration HEPA était associée à une amélioration de la fonction endothéliale et à une diminution des concentrations de biomarqueurs inflammatoires, mais pas à une diminution des marqueurs de stress oxydatif.

Fisk (2013) a également effectué une revue de l'ensemble des données probantes disponibles à ce sujet relativement aux occupants de bâtiments résidentiels, institutionnels et commerciaux. L'analyse des études recensées a montré que la filtration permettait au mieux d'engendrer de modestes atténuations des symptômes associés aux allergies et à l'asthme. Du même élan, Fisk (2013) soulignait que les devis de recherche utilisés à l'époque présentaient certaines faiblesses méthodologiques (ex. : faible nombre de participants, exposition à un type unique d'allergène, période d'expérimentation limitée, suivi d'un nombre limité d'effets). De plus, comme ce type d'étude était généralement mené en milieux contrôlés, les conditions expérimentales n'étaient pas nécessairement représentatives du milieu résidentiel, et les conclusions de celles-ci devaient être interprétées avec prudence. Fisk (2013) rapporte toutefois que les études d'intervention plus récentes sont de conception plus robuste et que certains auteurs ont noté des améliorations statistiquement significatives des symptômes étudiés dans une proportion variant de 7 à 25 %. Les résultats des études de modélisation revues par ce même auteur suggèrent quant à elles que la diminution de l'exposition aux particules fines de sources extérieures peut diminuer la morbidité et la mortalité des populations concernées. À l'instar des analyses littéraires publiées par Wood (2002), Hacker et Sparrow (2005), Sublett (2011) et Fisk (2013) rapportent que la distribution d'air filtré dans la zone de respiration des personnes allergiques ou asthmatiques en période de sommeil est en mesure d'offrir des bénéfices cliniques significatifs. Sublett (2011) précise qu'il s'avère plus efficace de combiner l'utilisation d'un SVC équipé d'un média filtrant et d'un système de filtration portatif dont l'installation permet de diffuser de l'air purifié dans la zone respirable des individus à protéger. Cette approche permettrait d'une part de créer un réservoir d'air épuré à l'échelle du bâtiment et, d'autre part, de distribuer de l'air filtré directement aux occupants devant être protégés.

En dépit des avantages et bénéfices de cette technologie, Barn (2010) et Brown *et al.* (2014) mentionnent toutefois que l'association entre l'utilisation de dispositifs de filtration et la diminution des symptômes respiratoires est plus prépondérante dans certaines situations, comme lorsque les occupants ont un aspirateur muni d'un filtre HEPA et une literie imperméable, ou lorsque les tapis présents dans le milieu intérieur sont retirés. Seppanen et Fisk (2004) soulignent aussi que toutes les surfaces où s'accumulent les particules doivent être maintenues propres afin d'éviter leur éventuelle remise en suspension dans l'air, et ce, même si la filtration est utilisée. Wood (2002) va dans le même sens en précisant que les systèmes de filtration n'ont que très peu d'effets sur la présence d'allergènes d'acariens (en raison de la grande taille des particules impliquées et de leur dépôt rapide) et que l'utilisation de deux dispositifs de filtration portables (un dans la salle familiale et un dans la chambre à coucher) pourrait permettre une atténuation plus substantielle des symptômes d'allergies. Enfin, et en dépit de ces résultats d'intérêt, Rudnik (2004) rapporte que les dispositifs faisant usage d'un média filtrant peuvent encore faire l'objet d'améliorations techniques (ex. : type de filtre et de ventilateur), ce qui devrait se traduire ultérieurement par une efficacité accrue.

### 3.4.2 ADSORPTION

#### Description du procédé

À l'instar des contaminants particuliers présents dans l'air intérieur, certains composés moléculaires gazeux des milieux intérieurs (ex. : formaldéhyde, toluène, O<sub>3</sub>, oxydes d'azote [NO<sub>x</sub>]) qui peuvent causer, à concentration élevée, des symptômes irritatifs, peuvent être retirés à l'aide de médias adsorbants Fox (1994). Ceux-ci sont d'ailleurs reconnus comme le moyen le plus simple et pratique d'atténuer les concentrations de COV en milieu intérieur (Chen *et al.*, 2005; Siegel, 2016). Ces médias adsorbants mettent à profit les qualités de composés amorphes<sup>7</sup>, qui possèdent une grande surface spécifique leur conférant un fort pouvoir d'adsorption. Le potentiel d'adsorption diffère cependant en fonction de l'affinité du contaminant pour le média utilisé et des conditions environnementales du milieu intérieur à épurer (Yao *et al.*, 2009).

Les médias adsorbants sont généralement constitués de charbon activé ou de gels de silice (Lorimier *et al.*, 2005, 2008; Sherman et Matson, 2003; Yao *et al.*, 2009), qui se présentent sous la forme de cartouches de granules, de poudres, d'étoffe, de feutre ou de tricot (Yao *et al.*, 2009). Chen *et al.* (2005) et Gunschera *et al.* (2013) ont également démontré l'efficacité relative d'autres substrats adsorbants (telle l'alumine imprégnée de permanganate de potassium, la zéolithe et la poudre de calcaire, de gypse ou d'argile) pour atténuer les concentrations de COV dans l'air intérieur. D'autres auteurs ont enfin démontré l'efficacité relative de systèmes adsorbants hybrides intégrant un bioréacteur constitué d'un compost de déchets végétaux ainsi que de charbon activé, disposé ou non dans une cartouche indépendante (Hort *et al.*, 2014; Luengas *et al.*, 2017; Ondarts *et al.*, 2012). Il est à noter qu'en dépit du rendement théorique élevé de tels bioréacteurs, ces auteurs concèdent que des recherches additionnelles sont nécessaires afin de produire des réacteurs dont la performance demeure constante et qui n'occasionnent pas d'émissions de micro-organismes ou de contaminants indésirables.

Les médias adsorbants précédemment décrits sont généralement employés de concert avec un ventilateur portable ou encore intégrés dans un système de ventilation centralisé afin de permettre une percolation de l'air vicié au travers de celui-ci. Ce type de filtre est d'ailleurs fréquemment employé comme préfiltre à l'intérieur de systèmes mixtes intégrant, par exemple, des filtres HEPA ou des lampes UV (Hassen-Khodja et Dussault, 2007). À cet effet, Bekö *et al.* (2009) ont démontré que la

<sup>7</sup> Un composé amorphe possède une structure dans laquelle les atomes ne respectent aucun ordre à moyenne et à grande distance, ce qui le distingue des composés cristallins dont les constituantes sont assemblées de façon régulière.

combinaison d'un média filtrant et d'un média adsorbant constituait une stratégie d'intérêt pour capter un vaste éventail de particules en suspension et de COV, en plus d'accroître la durée de vie utile du média épurateur disposé en aval du préfiltre.

### **Facteurs à considérer**

La capacité d'adsorption de ces médias étant théoriquement proportionnelle à la quantité de la substance adsorbante y étant intégrée ainsi qu'à la surface spécifique de la substance active (Chen *et al.*, 2005), la tâche à accomplir doit conditionner la sélection d'un média de dimension appropriée. Par exemple, si le volume du média est trop faible, la capacité d'épuration du dispositif ne répondra pas au besoin de l'utilisateur. L'efficacité du médium adsorbant est toutefois reconnue comme étant de courte durée et étroitement liée aux conditions d'utilisation (Nelson *et al.*, 1988). En effet, les médias adsorbants sont sujets à l'encrassement, et les sites d'adsorption deviennent généralement saturés après quelques mois de service. Il s'avère ainsi essentiel de remplacer régulièrement le médium adsorbant afin de maximiser leur efficacité. À titre d'exemple, plusieurs auteurs recommandent de remplacer les filtres et cartouches de charbon activé après une période d'utilisation continue de quelques mois (Hassen-Khodja et Dussault, 2007). Lorsque cet entretien n'est pas effectué avec assiduité, les médiums filtrants et adsorbants peuvent devenir des milieux propices à la contamination fongique et émettre des spores et des fragments de moisissures dans l'environnement intérieur (Yu *et al.*, 2009). Gunschera *et al.* (2013) ont également démontré que certains médias peuvent être le siège de réactions chimiques impliquant l'oxydation partielle de molécules organiques complexes et l'émission de produits secondaires potentiellement néfastes (ex. : production de monoterpènes suivant la dégradation de l' $\alpha$ -pinène sur un adsorbant de zéolithe). Les résultats de la revue de la littérature de Zhang *et al.* (2011) vont dans le même sens, en suggérant que des études soient menées afin de mieux comprendre les performances à long terme de ce type de média et les coproduits de réaction pouvant être générés par ces derniers.

Certains auteurs rapportent que divers facteurs peuvent affecter l'efficacité des systèmes équipés de filtres ou de cartouches de charbon. Parmi ceux-ci, Hassen-Khodja et Dussault (2007) indiquent que le volume et la densité du filtre de même que le temps de passage de l'air contaminé au travers du média adsorbant constituent des éléments de première importance. Certains facteurs environnementaux (ex. : pression atmosphérique) favoriseraient la capacité d'adsorption alors que d'autres (ex. : température ambiante, taux d'humidité, charge totale de contaminants) pourraient compromettre l'efficacité du média adsorbant (Lorimier *et al.*, 2005; Qi *et al.*, 2000). En somme, Joffe (1996) précise qu'en dépit de l'indéniable efficacité théorique de l'adsorption chimique, il s'avère néanmoins complexe d'implanter ce type de technologie afin que celle-ci apporte des bénéfices significatifs. Puisqu'il s'agit essentiellement de réactions de surface pour lesquelles le nombre de sites actifs s'avère limité aux surfaces de contact disponibles et que de multiples facteurs humains et environnementaux peuvent faire entrave à l'obtention d'un rendement optimal, l'efficacité de cette mesure peut varier de façon importante. Les coûts d'acquisition, d'utilisation et d'entretien (changement des filtres) pourraient aussi rendre cette avenue non attractive pour un usage en continu en milieu résidentiel.

### **Rendement et bénéfices**

Lorimier *et al.* (2005) ont démontré que différents substrats constitués de charbon activé disponible sur le marché étaient en mesure d'atténuer de façon efficace les concentrations de toluène variant de 21 à 18 160 mg/m<sup>3</sup>. Chen *et al.* (2005) rapportent cependant que les gaz légers et très volatils, tels que le dichlorométhane, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde, ne peuvent pas être éliminés efficacement à l'aide de charbon activé, et que le recours à des adsorbants plus performants pourrait

s'avérer utile dans de telles circonstances. En outre, l'efficacité d'adsorption dépendrait grandement des propriétés des COV et des médiums adsorbants.

Yao *et al.* (2009) ont démontré par le biais d'expériences en laboratoire que les étoffes constituées de fibres de charbon activé pouvaient être employées dans divers systèmes de traitement de l'air intérieur et que l'éthyle acétate et le dichlorobenzène sont les composés présents en milieu intérieur possédant les meilleures potentialités d'adsorption (capacité d'adsorption de 690,7 et de 486,1 microgrammes par gramme [ $\mu\text{g/g}$ ] de charbon, respectivement), comparativement au chloroforme et au benzène (9,7 et 7,7  $\mu\text{g/g}$  de charbon, respectivement). Ces auteurs précisent également que leurs résultats peuvent être utilisés pour calculer la durée de vie des adsorbants dans des conditions d'utilisation spécifiques.

### 3.4.3 CAPTATION ÉLECTROSTATIQUE

#### Description du procédé

Cette section regroupe différentes technologies qui, par l'entremise de la production d'un champ électromagnétique, modifient le microenvironnement adjacent aux contaminants (ex. : interaction avec un média chargé), voire la charge électrique des contaminants eux-mêmes (ex. : ionisation des contaminants), afin de permettre leur captation et leur retrait du milieu intérieur. Ces technologies peuvent être scindées en deux grands ensembles, soit les filtres électrostatiques et les filtres électroniques.

Comme l'indique leur nom, les **filtres électrostatiques** captent les contaminants particulaires par le biais de la statique, phénomène qui implique un simple transfert de charge (ou d'électron) d'un substrat chargé à un autre. Il en existe deux types. Le premier n'engendre aucune consommation d'électricité et sa charge induite contribue à capter les poussières en suspension dans l'air intérieur. Il existe sur le marché une panoplie d'applications faisant usage de ce principe général d'épuration, qu'il s'agisse de bruines électrochargées, de poudres ou de diverses surfaces actives. Le second type polarise les poussières de l'air intérieur lors de leur passage dans un champ électrostatique soutenu par un faible courant électrique. L'application la plus simple est constituée d'un dispositif qui applique une différence de potentiel électrique aux bornes d'un filtre constitué de fibres conductrices qui permet l'attraction puis la captation de particules de toutes tailles. L'air est projeté à travers le filtre à l'aide d'un ventilateur mécanique.

Les **précipitateurs électroniques** (aussi connus sous l'appellation « filtre électronique » ou « électrofiltre ») font d'abord appel à un processus qui modifie la charge électrique des contaminants (retrait ou ajout d'électrons de valence), ce qui favorisera leur réactivité, leur agglomération, puis leur éventuel retrait de l'air intérieur. Ce processus, dit d'ionisation, permet d'accélérer leur précipitation sur une plaque collectrice ou sur un filtre chargé prévu à cet effet. Dans le cadre des applications visées, l'ionisation des contaminants particulaires et gazeux s'opère par l'entremise d'un champ électrique de plusieurs milliers de volts généré par décharge à barrière diélectrique ou par décharge à barrière couronne (dit « effet corona »). Sous sa forme la plus simple, ce dernier dispositif génère des ions négatifs ou positifs par l'entremise de l'effet corona, qui ionise les contaminants de l'air avant qu'ils soient rabattus sur une plaque de charges contraires (Boelter et Davidson, 1997). Ces systèmes sont généralement constitués d'un ventilateur, d'une composante destinée à ioniser les particules fines, d'une plaque collectrice (toutes deux assujetties à une charge électrique opposée) ainsi que d'une unité de contrôle (Hassen-Khodja et Dussault, 2007; U.S. EPA, 2009).

## Facteurs à considérer

D'une part, les filtres électrostatiques s'encrassent généralement rapidement et doivent donc être nettoyés une fois par mois et remplacés après trois mois d'utilisation continue. Ils sont généralement jetables et il s'avère préférable d'opter pour des filtres homologués par l'ASHRAE lors de leur remplacement<sup>8</sup>.

D'autre part, les plaques précipitantes des filtres électroniques sont réutilisables, mais requièrent un nettoyage régulier (minimalement tous les mois; Ferguson, 1995), car l'efficacité de captation est inversement proportionnelle à la quantité de particules agglomérées sur les plaques (Fox, 1994; Hassen-Khodja et Dussault, 2007; U.S. EPA, 2009). Hassen-Khodja et Dussault (2007) avancent même que l'utilisation de ce type d'équipement en continu serait à proscrire en raison du potentiel d'accumulation de particules sur les plaques. L'efficacité de rabattement des poussières diminuerait typiquement de 80 % à 65 % après 16 h d'utilisation continue, et à 20 % après 40 h (Henderson *et al.*, 2005). L'efficacité des précipitateurs électroniques peut également être affectée par la présence de dépôts de siloxanes<sup>9</sup> sur les éléments électriques générant la décharge à barrière couronne (Davidson and Mckinney, 1998).

Par ailleurs, certaines préoccupations d'ordre sanitaire ont été adressées par divers organismes au regard de ce second type d'appareil (Barn, 2010; Gouvernement du Canada, 2016a; U.S. EPA, 2009), puisque celui-ci peut générer de l'ozone en concentrations variables (Day *et al.*, 2018; Nelson *et al.*, 1988), entraînant de ce fait des risques d'irritations pulmonaires chez les occupants (CDC, 2013; Gouvernement du Canada, 2017; U.S. EPA, 2009). Une étude menée par l'ASHRAE en 2013 a ainsi montré que l'utilisation en continu d'un précipitateur électronique pouvait générer des concentrations d'ozone dans l'air intérieur équivalentes à 6 fois les concentrations retrouvées habituellement de l'air extérieur (c.-à-d. ~ 70 parties par milliard [ppb]) (Rim *et al.*, 2013). L'ajout de filtres au charbon actif en aval du système pourrait cependant réduire d'environ 25 % les émanations d'ozone (Rim *et al.*, 2013). En revanche, Fox (1994) considère que la concentration d'ozone émise par la plupart des précipitateurs électroniques destinés aux usages domestiques demeure trop faible pour générer des risques importants à la santé des occupants.

Il est intéressant de souligner que Boelter et Davidson (1997) ont démontré voilà plus de 20 ans qu'il est possible de développer des précipitateurs électroniques qui limitent la production d'ozone de façon importante. D'abord, ces auteurs ont démontré que la génération d'ozone augmentait d'un facteur 10 lorsqu'un dispositif générant des ions positifs était utilisé (en complémentarité avec des plaques collectrices chargées négativement) comparativement à ceux générant des ions négatifs. De plus, l'usage d'un courant électrique de faible intensité (ou l'utilisation de la décharge corona à faible intensité) limitait la production d'ozone, alors que la température et l'humidité relative (HR) du milieu ne semblaient pas avoir un impact important sur ce processus. Enfin, en diminuant le diamètre du filage utilisé pour produire la décharge à barrière corona de même qu'en changeant la nature de ce dernier, ils diminuaient également la production d'ozone sans affecter la performance de l'épurateur (une diminution de 30 % est observée en utilisant du cuivre et de 50 % en utilisant de l'argent, comparativement au filament standard de tungstène).

---

<sup>8</sup> <https://www.caaquebec.com/fr/a-la-maison/conseils/capsules-conseils/conseil/show/sujet/les-filtres-des-appareils-de-chauffage-et-de-ventilation/> ou <https://www.ashrae.org/File%20Library/About/Position%20Documents/Filtration-and-Air-Cleaning-PD.PDF>

<sup>9</sup> Les siloxanes sont une classe de composés du silicium (organosilicones) dont la formule empirique est  $R_2SiO$  et où R est un groupe radical qui peut être organique.

## Rendement et bénéfices

Selon Huang et Chen (2002) et la U.S. EPA (2009), le rendement offert par ce type de système est fonction de :

- la taille des particules à capter;
- les caractéristiques techniques de l'appareil (différence de potentiel appliquée, force et densité du champ électrique produit, surface des plaques collectrices, débit d'air admis);
- l'entretien des composantes secondaires (préfiltre et postfiltre, plaque collectrice, etc.).

Précisons d'abord que, comparativement à un filtre haute efficacité de type HEPA, les filtres électrostatiques et électroniques n'offrent qu'une faible résistance à l'écoulement de l'air (perte de charge réduite), ce qui permet de traiter un plus grand volume d'air sans compromettre l'efficacité du système (Agrawal *et al.*, 2010; ASHRAE, 2018; Luengas *et al.*, 2015; U.S. EPA, 2009). Cet aspect fait en sorte que ce type de dispositif est fréquemment utilisé dans les SVC pour épurer l'air frais et celui recirculé.

Peu d'information est disponible au regard de l'efficacité des filtres et des autres médiums électrostatiques. Parmi les études répertoriées, Hart *et al.* (2011) ont démontré que l'utilisation d'un appareil de filtration électrostatique portable peut réduire la concentration de matières particulaires dans l'air intérieur associée à la combustion du bois de chauffage de 61 à 85 % sur une période de 12 h. Selon ces auteurs, l'utilisation de ce type d'appareil en saison de chauffe peut réduire l'exposition aux particules et aux suies issues des poêles à bois. Agrawal *et al.* (2010) ont quant à eux démontré que l'utilisation d'un appareil muni d'un filtre électrostatique peut retirer les allergènes d'acariens de l'air intérieur (soit les particules de diamètres compris de 2 à 12,5 µm) de façon plus efficace que la décantation naturelle (11,4 ± 2,9 fois plus rapide en 15 min d'opération; 5,4 ± 0,7 fois plus rapide en 30 min d'opération; 2,4 ± 0,2 fois plus rapide en 60 min d'opération). Selon ces auteurs, ce type de dispositif constituerait un outil de gestion environnementale complémentaire pour limiter les symptômes des individus allergiques. De façon complémentaire, Gaunt *et al.* (2003) rapportent que l'utilisation de brume électrochargée est en mesure de retirer 45 % de la charge totale de particules de l'air intérieur. L'effet d'un tel équipement serait particulièrement efficace sur les particules inférieures à 2 µm, éliminant jusqu'à 73 % de celles-ci. Ces mêmes auteurs rapportent que le retrait des poussières, des particules et des allergènes, présents notamment dans les tapis domestiques, peut être maximisé en appliquant des poudres électrochargées avant de procéder au nettoyage des couvre-planchers avec un aspirateur. L'utilisation de telles poudres pourrait contribuer à retirer les poussières dans une proportion moyenne de 99 %, soit 15 % de plus que lorsqu'elle n'est pas utilisée.

En ce qui a trait aux précipitateurs électroniques, MacIntosh *et al.* (2008) rapportent que ceux-ci s'avèrent également plus efficaces pour atténuer les concentrations de certains composés chimiques microparticulaires ou gazeux, et que ceux-ci demeurent moins sensibles aux forts taux d'HR que la filtration mécanique. Ils procurent notamment une haute efficacité en regard de particules de la taille des pollens et des spores de moisissures, des allergènes animaux et des aérosols issus de la fumée de combustion (ASHRAE, 2018; Fernandez-Caldas *et al.*, 1994; Nelson *et al.*, 1988). L'efficacité de tels dispositifs est étroitement liée à la surface des plaques collectrices, au débit du ventilateur et à la force du champ électrique généré (Fox, 1994). Le design de ce type d'appareils est également susceptible de moduler leurs performances. Henderson *et al.* (2005) rapportent que l'air intérieur des maisons témoins investiguées dans le cadre de leur étude présentait des concentrations de PM<sub>2,5</sub> dans l'air intérieur de 63 à 88 % supérieures aux résidences équipées de précipitateurs électroniques. Certains auteurs ont également caractérisé les performances de ces systèmes en

milieu résidentiel. Howard-Reed *et al.* (2003) ont rapporté que le système à filtre électrostatique utilisé dans leur étude était en mesure d'atténuer de 55 à 85 % la concentration des particules de taille comprise entre 0,3 et 10 µm, alors que Wallace *et al.* (2004) ont rapporté des réductions de plus de 50 % des particules de diamètre > 10 nm. Malgré ce fait, Hacker et Sparrow (2005) rapportent qu'à l'instar des dispositifs de filtration portable, les précipitateurs électrostatiques conçus pour épurer la zone de respiration (ici durant le temps de sommeil) offriraient la meilleure protection contre la rhinite allergique.

#### 3.4.4 IONISATION

##### Description du procédé

L'utilisation des ionisateurs est en forte progression dans le traitement de l'air intérieur (Alshawa *et al.*, 2007). Ils permettent de décomposer (ou de minéraliser) les COV ainsi que les bioaérosols en constituants élémentaires (CO<sub>2</sub> et en eau [H<sub>2</sub>O]) ou de favoriser la déposition de particules sur diverses surfaces des milieux intérieurs (Lee *et al.*, 2004). Les générateurs d'ions sont dans les faits une version simplifiée des précipitateurs électroniques. À l'instar de ces derniers, les générateurs d'ions modifient la charge électrique des constituants et des contaminants de l'air par le biais de l'effet corona pour générer des ions qui, à leur tour, interagissent avec les contaminants de l'air intérieur. Le transfert de charge électrique s'effectue généralement dans une cellule où circule l'air contaminé sous la force motrice d'un ventilateur mécanique. Les particules ainsi chargées sont transportées par le flux d'air généré par le ventilateur pour ensuite adhérer aux différentes surfaces intérieures (ex. : draperies, tapis, mobilier, cloisons), sans toutefois altérer leur nature (Blondeau *et al.*, 2007; Hassen-Khodja et Dussault, 2007).

##### Facteurs à considérer

Berry *et al.* (2007) rapportent que l'ionisateur vendu commercialement et testé dans le cadre de leur étude s'avère efficace pour éliminer les particules en suspension dans l'environnement intérieur. Par contre, son efficacité est réduite lorsque les occupants vaquent à leurs activités courantes, en raison du fait que celles-ci contribuent à la remise en suspension de particules fines dans l'air intérieur. Ceux-ci devraient donc être utilisés en l'absence des occupants pour optimiser leur performance ainsi que les risques sanitaires pouvant en découler.

Généralement utilisé dans le traitement des inconforts olfactifs causés par des COV odorants, l'effet épurateur de ce type de dispositif s'avère toutefois limité par la production de particules fines et ultrafines, d'ozone et d'autres produits d'oxydation incomplète (ex. : NO<sub>2</sub>, formaldéhyde, peroxyde, cétone, etc.) pouvant poser un risque à la santé des occupants (Alshawa *et al.*, 2007; Berry *et al.*, 2007; Britigan *et al.*, 2006; Hood, 2005; Kim *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2004; Luengas *et al.*, 2015; U.S. EPA, 2009, 2014a; Wu et Lee, 2004). À cet effet, Wu et Lee (2004) ont démontré, dans une étude en conditions contrôlées, que les interactions entre les ions négatifs, le toluène et le chloroforme n'engendraient pas de coproduits contrairement à l'oxydation de l'hexadiène qui produirait du pentanal. De plus, la génération de particules fines, ultrafines et de formaldéhyde serait plus importante lorsque les ions produits interagissent en présence de COV insaturés, tels que le limonène, qui donne une odeur de citron à certains produits ménagers (Alshawa *et al.*, 2007; Burton, 2007; Hubbard *et al.*, 2005).

Parce que certains types d'appareils génèrent des concentrations non négligeables d'ozone, l'utilisation d'un ionisateur devrait ainsi être proscrite en présence d'individus asthmatiques (Hood, 2005). Lee *et al.* (2004) ont également démontré que l'appareil doit être en mesure de produire une importante densité d'ions (atteignant 10<sup>5</sup> - 10<sup>6</sup> électrons par centimètre cube [e<sup>±</sup>cm<sup>-3</sup>]) pour être en mesure d'atténuer les concentrations de particules fines et ultrafines présentes en milieu intérieur.

Ces mêmes auteurs rapportent que la puissance de l'appareil doit être proportionnelle à la taille du milieu intérieur à épurer. Comme précisé, ces appareils ne devraient pas être utilisés pour atténuer les concentrations de COV insaturés (ex. : acroléine) en milieux intérieurs (Alshawa *et al.*, 2007; Burton, 2007).

Par ailleurs, Alshawa *et al.* (2007) précisent que l'utilisation d'un appareil qui limite la production d'ozone au minimum et qui possède un puissant ventilateur pourrait diminuer l'ampleur de ce processus. Comme précédemment mentionné, Lee *et al.* (2004) rapportent que certaines avancées techniques (développement de la décharge corona à faible intensité) peuvent contribuer à conserver les concentrations de ces coproduits délétères sous les seuils de concentrations dits acceptables. Lee *et al.* (2004) rapportent également que l'utilisation de tels dispositifs peut occasionner de faibles décharges d'électricité statique (chocs) pour les occupants, surtout lorsque le taux d'HR de l'air intérieur est très faible.

### Rendement et bénéfiques

Dans leur revue de la littérature, Luengas *et al.* (2015) rapportent que l'efficacité de retrait des particules en suspension de diamètre compris entre 0,3 et 6 µm varierait de 75 à 95 %. Lee *et al.* (2004) ont pour leur part démontré que l'utilisation en milieu contrôlé d'un générateur d'ions commercial était en mesure de retirer de l'air intérieur 97 % des particules inférieures à 0,1 µm et 95 % des particules inférieures à 1 µm en 30 min. Berry *et al.* (2007) ont quant à eux mené une étude en milieu résidentiel à l'aide d'un appareil populaire disponible sur le marché. La mise en service de ce dispositif a permis d'abaisser le ratio moyen de poussières intérieures/extérieures de 1,03 à 0,73 en 8 h. Cette réduction n'est toutefois pas significative lorsque les particules de toutes tailles sont considérées. De plus, en s'appuyant sur une revue systématique de la littérature, Blackhall *et al.* (2003) rapportent que ce type de dispositif n'est pas en mesure de réduire l'ampleur ou la fréquence des symptômes chez les patients atteints d'asthme.

Il est enfin intéressant de souligner que plusieurs chercheurs se sont penchés sur les effets bénéfiques de la présence d'ions dans l'environnement intérieur sur la santé physique et psychologique des occupants. Ici encore, la méta-analyse effectuée par Perez *et al.* (2013) a montré que la présence d'ions positifs ou négatifs générés par ce type d'appareil ne semble pas affecter le niveau d'anxiété, de stress, de sommeil ou de confort des occupants. L'étude transversale à double insue menée par Wallner *et al.* (2015) a toutefois démontré que la présence de concentrations élevées d'ions dans l'air accroît l'activité sympathique, réduit l'activité vagale, engendre une modification du rythme cardiaque ainsi qu'une légère augmentation de l'activité cognitive. Ces derniers auteurs reconnaissent néanmoins que la réalisation d'études complémentaires serait utile pour une meilleure caractérisation de ces effets.

### 3.4.5 OZONATION

#### Description du procédé

Les ozonateurs produisent de l'ozone par le biais de décharges électriques à haute tension (effet corona) qui ionisent l'oxygène ambiant (O<sub>2</sub>) qui se recombine naturellement en O<sub>3</sub>. L'oxygène actif est ensuite dispersé dans l'air intérieur par l'entremise d'un ventilateur mécanique. La production d'ozone à des fins de décontamination de l'air intérieur est une technique qui a été mise au point il y a plusieurs décennies. Le principe actif de cette technique sous-tend que l'ozone est en mesure d'oxyder les composés organiques de l'air (dont les composés malodorants) en CO<sub>2</sub> et en vapeur d'eau. Certaines propriétés bactéricides de l'ozone étaient même avancées par certains manufacturiers, mais les concentrations d'ozone nécessaires à leur élimination (et également à l'élimination des COV) sont également nocives pour les occupants (Britigan *et al.*, 2006). Voilà

quelques décennies, les ozonateurs étaient particulièrement utilisés pour atténuer les odeurs indésirables dans de nombreux endroits publics (tels les bars, restaurants, centres sportifs, édifices à bureaux, résidences privées) ainsi qu'en condition postsinistre (voir revue de Boeniger, 1995).

### **Facteurs à considérer**

En dépit de l'intérêt que revêtent les propriétés épuratrices de l'ozone, ce gaz ne peut être utilisé de façon sécuritaire en milieu intérieur en présence d'occupants en raison de son caractère délétère. Qu'il provienne de sources extérieures (ozone troposphérique produit par des réactions photochimiques impliquant les NO<sub>x</sub> et les COV ambiants en présence d'UV [Gouvernement du Canada, 2016b]) ou de sources intérieures (purificateurs d'air et appareils de bureau telles les imprimantes et les photocopieuses), l'ozone est lui-même considéré comme un contaminant et un irritant respiratoire pour les occupants (Burton, 2007; CDC, 2013; Gouvernement du Canada, 2017; U.S. EPA, 2009; Zhang *et al.*, 2011). Dans sa revue de la littérature, Boeniger (1995) rapporte que l'exposition ponctuelle à de l'ozone à des concentrations près de 120 ppb est associée à une variété d'effets aigus, incluant une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires, de la toux, des maux de tête, de l'insomnie, etc. Des effets inflammatoires ainsi qu'une susceptibilité accrue aux infections respiratoires ont également été documentés. L'inhalation simultanée d'ozone et d'autres composés reconnus pour leur potentiel irritant engendre un effet synergique additif ou multiplicatif. Certains sous-groupes de la population seraient également plus vulnérables que d'autres, tels les enfants, chez qui certains auteurs ont constaté un déclin des fonctions pulmonaires à la suite d'expositions à des concentrations d'ozone aussi faibles que 60 ppb. Gheorghiu et Lessage (2015) rapportent dans leur revue de la littérature portant sur les risques sanitaires associés à l'exposition à l'ozone que les expositions à plus de 20 ppb (sur une période de 8 h; soit la valeur guide de Santé Canada; voir Gouvernement du Canada, 2018) peuvent engendrer des conséquences sur la santé. L'exposition chronique à de l'ozone peut quant à elle mener au développement de maladies obstructives des voies respiratoires, incluant la fibrose pulmonaire et l'emphysème (Boeniger, 1995).

C'est ainsi que les organismes de santé publique recommandent généralement d'éliminer les sources d'ozone et d'éviter toute exposition non nécessaire à ce gaz. L'utilisation de ce type d'appareil pour contrôler les contaminants de l'air intérieur n'est donc pas recommandée (voir U.S. EPA 2014b et Gouvernement du Canada, 2012) car les individus qui utilisent ce type d'appareil sont généralement exposés à des concentrations excédant les seuils d'exposition recommandés par les organismes sanitaires (Britigan *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2011).

Bien que les ozonateurs possèdent un certain potentiel épurateur, notamment au regard des contaminants gazeux, ni agence ou ministère fédéral, canadien ou américain, ni organisme international reconnu ne recommandent son utilisation à des fins de décontamination de l'air intérieur (Zhang *et al.*, 2011).

### **Rendement et bénéfices**

L'ozone réagit avec les membranes cellulaires et l'hydrogène de la vapeur d'eau pour engendrer des radicaux libres qui peuvent à leur tour détruire les micro-organismes (Hassen-Khodja et Dussault, 2007). Bien que l'efficacité de ces systèmes dans la stérilisation de l'eau ait été démontrée depuis longtemps, l'ozone ne serait pas en mesure d'éliminer les contaminants particuliers de l'air intérieur et n'aurait aucun effet sur les charges virales, bactériennes ou de spores présentes dans l'air intérieur.

Britigan *et al.* (2006) rapportent que l'utilisation d'un ozonateur en milieu intérieur contribue à augmenter les concentrations d'ozone jusqu'à l'atteinte d'un certain équilibre tributaire de l'intensité de la source et des puits potentiels d'ozone. La vitesse d'accumulation d'ozone serait ainsi

inversement proportionnelle aux surfaces d'échange (qui agissent à titre de puits réactionnels) et de la taille de la pièce (qui offre un certain potentiel de dilution). L'utilisation d'un ozonateur générera de plus fortes concentrations d'ozone (et engendrera une efficacité théorique supérieure) dans les pièces de petite dimension et peu ventilées, construites, meublées et décorées avec des matériaux réfractaires à l'ozone (ex. : granite, verre, porcelaine). En théorie, plus les concentrations d'ozone sont importantes, plus le potentiel d'oxydation des contaminants est élevé. En accord avec ces auteurs, la U.S. EPA (2014b) rapporte que les dispositifs épurateurs qui émettent de l'ozone à des concentrations inférieures aux critères prescrits par les autorités de santé publique posséderaient un potentiel d'atténuation des contaminants de l'air intérieur très limité.

À titre d'exemple, Boeniger (1995) rapporte que Shaughnessey et Otman ont testé deux ozonateurs dans une pièce typique de 111 pieds carrés (pi<sup>2</sup>) située dans un bureau ventilé de 350 pi<sup>2</sup>. Le plus petit modèle a produit des concentrations d'ozone dans la pièce atteignant 1 000 ppb dans un délai de 3 h, alors que les concentrations se sont équilibrées de 80 à 100 ppb pour des taux de ventilation de 0,45 et 1,3 CAH dans le bureau. Le modèle le plus puissant a généré des concentrations d'ozone atteignant de 300 à 500 ppb dans le bureau lorsque les mêmes taux de ventilation étaient appliqués.

L'ozone serait particulièrement efficace pour dégrader les molécules organiques insaturées, dont celles de la famille des alcènes (ex. : styrène, terpène) ainsi que les molécules aromatiques polycycliques (ex. : hydrocarbures aromatiques polycycliques [HAP]) (Boeniger, 1995; Britigan *et al.*, 2006). Alors que les produits d'oxydation incomplète issus de telles réactions pourraient être encore plus nocifs que les composés initiaux à atténuer (ex. : peroxyde, aldéhyde, cétone, ions hydroxydes, aérosol) (Britigan *et al.*, 2006; Gheorghiu et Lessage, 2015), l'ozone ne serait pas très efficace pour oxyder d'autres contaminants odorants tels le sulfure d'hydrogène, l'ammoniac et l'acide butyrique ou valérique. Boeniger (1995) rapporte également que l'ozone tend toutefois à réagir avec des substrats synthétiques (tels les tapis), pour produire notamment des aldéhydes en concentrations variables.

### 3.4.6 PLASMA

#### Description du procédé

Le procédé d'épuration au plasma réfère à une variété de processus qui impliquent des décharges électriques à haut voltage pour minéraliser les contaminants gazeux de l'air intérieur tels les COV. Selon Hassen-Khodja et Dussault (2007), ce type de technologie serait également en mesure de détruire efficacement les contaminants microbiologiques comme les bactéries, les virus, les pollens et les spores. Il existe différents types de dispositifs dont le fonctionnement s'appuie sur ce concept général, mais dont le principe actif diffère quelque peu.

En premier lieu, il y a le **plasma chaud** (ou thermal) qui, par le biais d'un puissant courant électrique (1 kilowatt [kW] à 50 millions de watts [mW]) génère, à pression atmosphérique, une flamme qui ionise, dégrade et minéralise les contaminants qui atteignent des températures de 1 000 à 20 000 kelvins (K) lorsqu'ils la traversent. Alors que les contaminants sont complètement dégradés dans un intervalle de temps relativement bref, ce type de dispositif consomme généralement de grandes quantités d'énergie nécessitant l'intégration de stratégies de gestion d'éventuelle surchauffe. Puisque ce dernier est généralement employé pour traiter les effluents industriels gazeux fortement pollués, cette technologie n'est pas compatible avec des applications résidentielles (Bahri et Haghighat, 2013).

En second lieu, il y a le **plasma froid** (ou non thermal), dont le principe actif s'appuie sur la création d'un environnement électriquement neutre à l'échelle subatomique. En raison de leur faible masse, les électrons ambiants subissent une importante accélération différentielle ainsi qu'une hausse de température pouvant atteindre des dizaines de milliers de kelvins sans que l'environnement immédiat n'en soit affecté. Alors que le taux d'ionisation directe des molécules avoisinantes demeure très modeste (1 % de celui généré par le plasma chaud), la collision de ces électrons avec les gaz de l'air ambiant engendre des espèces réactives et des radicaux libres qui, à leur tour, sont impliqués dans l'oxydation des contaminants (Schmid *et al.*, 2010; Vandebrouck *et al.*, 2011). Plusieurs types de réacteurs peuvent être utilisés pour générer ce type de réaction : la décharge à barrière diélectrique, la décharge de surface, la décharge corona, le jet de plasma, etc. (Bahri et Haghghat, 2013). Les technologies d'épuration faisant appel au plasma froid comportent ainsi plusieurs avantages. Elles sont en mesure d'atténuer une gamme étendue de concentration de COV (de 1 à 10 000 parties par million [ppm]) et de particules fines (dont les spores, pollens et bactéries), et ce, à température ambiante. De plus, elles ne requièrent que peu d'énergie comparativement au plasma chaud (Bahri et Haghghat, 2013; Park *et al.*, 2008). Par ailleurs, elles sont susceptibles de générer divers produits de dégradation incomplète tels du monoxyde de carbone, de l'éthanol, du formaldéhyde, de l'ozone, du benzène, etc., qui varient en fonction de la nature et de la concentration des contaminants initiaux, des conditions environnementales (température, HR, contaminants secondaires) et des spécificités du dispositif (type de réacteur, débit d'air, gaz porteur, etc.) (Bahri et Haghghat, 2013; Zhang *et al.*, 2011).

En dernier lieu, il faut mentionner le développement de la **plasma-catalyse** (ou catalyse associée au plasma), une variante du plasma froid développée pour pallier différents problèmes associés à ce type de système. Selon Van Durme *et al.* (2009) et Schmid *et al.* (2010), cette méthode constitue une intéressante solution pour épurer l'air intérieur. De façon très schématique, cette approche combine l'effet synergique de l'oxydation au plasma et de la catalyse afin d'accroître l'efficacité épuratrice des systèmes, tout en limitant la production de produits d'oxydation incomplète (Holzer *et al.*, 2002). Le choix d'un catalyseur joue un rôle de première importance sur les performances du dispositif. Ceux-ci sont généralement constitués d'un matériau poreux (telle la zeolite :  $Al_2O_3$ ), possédant des capacités d'adsorption démontrées, parfois enrichi de certains métaux (argent [Ag], platine [Pt], rhodium [Rh], nickel [Ni], cuivre [Cu], cobalt [Co], magnésium [Mg], titane [Ti]) afin d'accroître leur performance au regard de l'atténuation de certains contaminants (Bahri et Haghghat, 2013). Le média catalyseur peut être disposé en amont, en aval de la source de plasma ou, encore, les deux éléments peuvent être couplés (Van Durme *et al.*, 2009).

### Facteurs à considérer

Très peu d'informations ont été identifiées au regard de ces facteurs. Selon celles rapportées par Wan *et al.* (2011), l'augmentation du taux d'HR (dans la plage comprise entre 0 et 70 %) favoriserait la décomposition du formaldéhyde. Par ailleurs, le processus de dégradation des COV pourrait être atténué lorsque le taux d'HR s'élève au-delà de 80 %, puisque la densité relative d'électrons libres serait grandement diminuée et les espèces réactives intermédiaires seraient davantage adsorbées à la surface du réacteur. En accord avec ces derniers auteurs, Van Durme *et al.* (2009) précisent cependant que le retrait de l'ozone ne serait pas significativement affecté par les taux d'HR élevés contrairement aux COV, notamment le toluène.

À l'instar des technologies précédemment décrites, le médium catalytique est susceptible d'être altéré par la présence de dépôt de carbone, certaines configurations sont susceptibles de rejeter de l'ozone, du monoxyde de carbone et des NOx en quantité variable (Bahri et Haghghat, 2013; Van Durme *et al.*, 2009). À cet effet, Rolland *et al.* (2002) ont d'ailleurs démontré que l'ozone jouait un rôle

fondamental dans le processus d'oxydation directe et indirecte des COV par le biais de ce type de dispositif.

Afin d'optimiser la consommation énergétique des dispositifs à plasma chaud, des chercheurs ont mis au point une technique dite d'adsorption-décharge de plasma cyclique, qui implique en premier lieu l'adsorption des COV sur le catalyseur; en second lieu, elle implique la formation pulsée d'un plasma qui favorise la minéralisation complète des COV adsorbés et l'économie d'énergie (voir Fan *et al.*, 2011). Sinon, cette technologie implique généralement une forte consommation énergétique (Zhang *et al.*, 2011).

### Rendement et bénéfices

Bahri et Haghghat (2013) présentent un intéressant tableau comparatif de l'efficacité relative de différents dispositifs faisant appel au procédé de plasma froid et de plasma-catalyse. À titre d'exemple, ces auteurs rapportent que les techniques de plasma froid (tout type de réacteurs et de conditions environnementales confondus) sont en mesure de procéder à la dégradation du toluène (dans des proportions variant de 26 à 90 %), du formaldéhyde (de 42 à 57 %) et de l'acétone (à 38 %). En ce qui a trait à la plasma-catalyse, les taux de conversion documentés varient respectivement de 39 à 99 % pour le toluène, de 87 % pour le formaldéhyde, et de 63 à 100 % pour le benzène. Lorsque la technique d'adsorption-décharge de plasma cyclique est appliquée à cette dernière technologie, le niveau de conversion du benzène et du formaldéhyde varie de 75 à 100 %. Cette technologie hybride pourrait offrir les meilleures performances en laboratoire, mais celle-ci devra être testée en situation réelle.

Schmid *et al.* (2010) rapportent les performances d'un système plasma-catalyse utilisé dans des conditions expérimentales comparables à celles observées en milieux intérieurs. Ils précisent que la dégradation du cyclohexane atteint 11 %, le benzène, 2 %, le toluène, 11 %, l'éthylbenzène, 3 % et le xylène, 3 %, suivant un passage unique d'échantillons d'air contaminé. Van Durme *et al.* (2007) ont quant à eux évalué la performance d'un système à plasma non thermique à décharge positive pour la purification de l'air intérieur. Les auteurs rapportent que l'élimination du toluène présent dans un échantillon d'air s'est avérée efficace, mais que la capacité d'élimination demeure plus limitée en présence d'HR élevée (> 50 %). Des produits de réaction secondaires, tels l'acide formique, le benzaldéhyde, l'alcool benzylique et diverses espèces de méthylnitrophénol, ont toutefois été identifiés. Pour leur part, Van Durme *et al.* (2009) rapportent que l'efficacité de retrait du toluène par des dispositifs de type plasma-post-catalyse peut atteindre 90 %. Ces auteurs ont également démontré qu'une relation de type logarithmique a été établie entre l'adsorption des COV sur le catalyseur et la dégradation par le biais du plasma ( $R^2 = 0,982$ ). L'utilisation d'un catalyseur performant semble donc l'élément critique de cette technologie.

### 3.4.7 ULTRAVIOLET

#### Description du procédé

Les systèmes germicides faisant appel à l'irradiation UV (IGUV) sont conçus pour atténuer les concentrations d'agents pathogènes tels les bactéries, les moisissures et les virus présents dans l'air intérieur (Kujundzic *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2011). Le rayonnement ultraviolet de type C (UVC; longueur d'onde :  $\lambda = 254$  nm) est reconnu létal pour la plupart des micro-organismes (CDC, 2009; Hassen-Khodja et Dussault, 2007; U.S. EPA, 2009). Celui-ci pénètre et endommage l'ADN des micro-organismes au point d'interrompre le potentiel de répllication cellulaire (Kujundzic *et al.*, 2006).

Deux types de dispositifs faisant appel à l'IGUV sont généralement retrouvés: les lampes suspendues en hauteur dans les pièces où l'air doit être aseptisé et les lampes intégrées aux conduits des systèmes de ventilation portables ou centralisés. De façon générale, l'utilisation de systèmes intégrant une ou des lampes est considérée comme efficace dans la plupart des milieux potentiellement contaminés et où la ventilation est inadéquate (CDC, 2009). Par ailleurs, plusieurs auteurs et organismes consultés considèrent que l'IGUV devrait être utilisée comme un complément à la ventilation (CDC, 2009; CITC, 2011; Nardell, 2013; Memarzadeh *et al.*, 2010), comme d'autres technologies utilisées pour épurer l'air intérieur, telle la filtration (Kujundzic *et al.*, 2006).

Il est à noter que Miller *et al.* (2013) ont effectué une intéressante revue de la littérature portant sur les nouvelles technologies disponibles dans le domaine de la désinfection par les UV. Alors que, traditionnellement, l'IGUV est assurée par les lampes au mercure, certaines avancées technologiques ont permis de développer des dispositifs plus durables, polyvalents et efficaces, tels les diodes, les lampes au xénon ainsi que les systèmes de contrôle interactif. Ces innovations devront cependant faire l'objet d'évaluations plus poussées avant que leur utilisation ne soit préconisée par les organisations sanitaires.

### Facteurs à considérer

En ce qui a trait aux lampes suspendues, celles-ci devraient être installées dans les locaux de plus de 8 pieds de haut (et placées à une hauteur idéale de 7 pieds du sol) et devraient être orientées vers le haut (ou munies de plaques protectrices) pour limiter l'exposition des occupants aux rayons UV. Il est important que le système soit installé au centre de la pièce afin que l'irradiation soit la plus uniforme possible (CITC, 2011). Puisque l'effet germicide de tels systèmes est, d'une part, assuré par le rayonnement UV et, d'autre part, par le mélange de l'air intérieur engendré par la convection naturelle de l'air ou la ventilation mécanique, ce type d'installation offre une performance maximale lorsqu'un mélange d'air adéquat (lent, mais constant) est maintenu (CDC, 2009; Macher *et al.*, 1992).

Peu importe la nature et la configuration des dispositifs dans lesquels ils sont intégrés, le Curry International Tuberculosis Center (CITC, 2011) ainsi que de Memarzadeh *et al.* (2010) soutiennent que les tubes UV doivent être nettoyés tous les trois mois et remplacés selon les recommandations du fabricant (voir également les CDC [2009] pour les recommandations spécifiques aux établissements de santé). Bien que ce type de système requiert généralement peu d'entretien, certaines précautions doivent être observées au regard des risques associés à l'exposition aux UV (c.-à-d. lésion oculaire ou cutanée; voir; ASHRAE, 2017; CITC, 2011; Talbot *et al.*, 2002). À cet effet, le CITC (2011) mentionne que la seule façon de savoir si la dose de radiation à laquelle les occupants sont soumis est acceptable est d'effectuer une mesure d'intensité du rayonnement au niveau de la zone d'exposition. Le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a d'ailleurs développé une recommandation concernant l'exposition maximale admise pour les occupants, soit de 0,2 mW/cm<sup>2</sup> pour une durée de 8 h consécutives (CITC; 2011). Zhang *et al.* (2011) mentionnent également que l'utilisation de dispositifs UV de forte intensité peut générer de l'ozone (voir section 3.4.5 pour plus détails sur l'ozone et ses effets à la santé).

Selon les informations rapportées par Hassen-Khodja et Dussault (2007), Memarzadeh *et al.* (2010), le CITC (2011), les CDC (2009) et la U.S. EPA (2009), la performance générale de ce type de système serait étroitement liée :

- au taux de ventilation de la pièce traitée;
- à l'emplacement de la lampe;
- à l'intensité du rayonnement;

- au temps d'exposition des aérosols contaminés;
- à l'HR;
- à la température;
- à l'entretien des lampes.

Selon Peccia *et al.* (2001), un taux d'HR supérieur à 70 % diminuerait l'efficacité du rayonnement UV, le taux à cibler pour atteindre une efficacité optimale de ce système étant inférieur à 60 % (voir ASHRAE, 2017; CDC, 2009; Memarzadeh *et al.*, 2010). Par ailleurs, les tubes UV offriraient un rendement optimal à des températures situées entre 20 et 24 °C<sup>10</sup> (CDC, 2009; Memarzadeh *et al.*, 2010).

### Rendement et bénéfices

Dans des conditions d'utilisation optimale, il est possible d'assumer que le processus de désinfection par lampe UV est comparable à la réduction engendrée par une ventilation équivalente à 1 CAH (soit 1 équivalent changement d'air à l'heure [eCAH] [Memarzadeh *et al.*, 2010]). Nardell (2013) rapporte que l'utilisation de lampes UV dans le haut des chambres, couplée à un système d'échange d'air performant, pourrait engendrer une réduction de la concentration des gouttelettes infectées équivalente à l'application d'une ventilation procurant de 10 à 20 CAH. Les travaux de laboratoire effectués par Escombe *et al.* (2009) ont montré que l'utilisation combinée d'une lampe UV et d'une ventilation adéquate pouvait réduire de 9,5 % la fréquence des infections respiratoires d'origine bactérienne. Dans la même lignée, Kujundzic (2006) a démontré que l'utilisation de différentes technologies d'épuration (filtration, ionisation et précipitation électrostatique), intégrées à un SVC combiné à l'emploi d'un système d'IGUV installé dans la partie supérieure d'une chambre en condition contrôlée, pouvait engendrer des bénéfices non négligeables. Alors que l'utilisation respective de ces différentes technologies a permis d'offrir une capacité d'épuration (CADR) variant de 26 à 981 mètres cubes par heure (m<sup>3</sup>/h), l'utilisation combinée des lampes a grandement bonifié leur efficacité (1480-2370 m<sup>3</sup>/h avec IGUV au plafond).

En ce qui concerne les systèmes portables équipés de lampes UV, la U.S. EPA (2009) mentionne qu'il n'y aurait pas de méthode standardisée pour évaluer leur efficacité. L'agence américaine stipule que les dispositifs couramment retrouvés sur le marché possèdent un potentiel biocide limité considérant que l'intensité des rayonnements émis par les lampes utilisées ainsi que le temps d'exposition ne seraient généralement pas suffisants pour détruire les cellules bactériennes (U.S. EPA, 2009). Selon Kowalski et Bahnfleth (1998), la recirculation de l'air dans ce type de système pourrait toutefois avoir un impact sur la charge bactérienne aéroportée dans l'air intérieur. Ainsi, ce type de système ne serait pas efficace lorsqu'il est utilisé de façon indépendante, et devrait être jumelé à un module de filtration de type HEPA pour offrir un contrôle contre les infections (U.S. EPA, 2009). De plus, selon la U.S. EPA, les lampes UV installées dans les systèmes d'épuration d'air portables préviendraient ou limiteraient davantage la croissance de bactéries sur les parois des conduits de l'appareil que dans l'air ambiant (Kowalski et Bhanfleth, 1998; U.S. EPA, 2009).

Contrairement aux systèmes installés au plafond, les modules d'IGUV disposés dans les conduits de ventilation ne sont pas davantage recommandés pour limiter la transmission d'agents infectieux (Kujundzic, 2006; Nardell, 2013). De plus, il n'existe pas encore de données probantes quant à l'efficacité de ces systèmes en milieu résidentiel (ASHRAE, 2014; Memarzadeh *et al.*, 2010). Selon Nardell (2013), l'utilisation d'appareils portables munis de lampes UV peut s'avérer efficace pour

<sup>10</sup> Recommandation appuyée sur le standard ASHRAE 170 : <http://sspc170.ashraeeps.org/index.html>.

lutter contre les infections, à condition que ceux-ci soient suffisamment puissants pour engendrer un mélange complet de l'air de la pièce et pour engendrer une épuration équivalente à 6-12 eCAH.

### 3.4.8 PHOTOCATALYSE

#### Description du procédé

La photocatalyse ou (oxydation photocatalytique [OPC]) est une technologie dite universelle qui a la capacité de détruire les composés chimiques particuliers et gazeux de même que les micro-organismes pathogènes à température et pression ambiante (Daniels, 2007; Destailats *et al.*, 2012; Farhanian *et al.*, 2013; Farhanian et Haghghat, 2014; Hodgson *et al.*, 2007; Mamaghani *et al.*, 2017; OQAI, 2012; Paschoalino et Jardim, 2008; Sanchez *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2003, 2011; Zhong et Haghghat, 2015). Son faible coût d'opération, sa longue durée de vie et les procédures d'entretien minimal qu'elle nécessite en font une technologie flexible et polyvalente (Blondeau *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2016; Mo *et al.*, 2009a; Sharmin et Ray, 2012; Zhong et Haghghat, 2015). Abondamment utilisée pour le traitement des eaux usées, cette technologie est désormais employée à des fins de traitement des contaminants de l'air intérieur, notamment ceux susceptibles d'occasionner des inconforts olfactifs, et ce, dans des contextes des plus diversifiés (résidences, bureaux, véhicules, aéronefs, etc.) (Zhao et Yang, 2003).

Ce procédé repose essentiellement sur l'émission d'électrons libres issus de l'irradiation d'un matériau semi-conducteur par des rayons UV ou plus simplement par les rayons solaires incidents. Le matériau semi-conducteur possédant les meilleures caractéristiques physicochimiques pour optimiser le processus de photocatalyse est le  $\text{TiO}_2$ . Il s'agit en effet d'un composé chimiquement stable, résistant, accessible, et qui possède des propriétés optiques et diélectriques d'intérêt (ex. : haut coefficient de réfringence et une large bande interdite de gap > 3 électronvolts [eV]) (Mamaghani *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2007).

La première étape du processus d'épuration d'OPC se caractérise d'abord par l'adsorption d'oxygène, de vapeur d'eau et de COV sur un matériau semi-conducteur tel le  $\text{TiO}_2$  (Farhanian et Haghghat, 2014). L'irradiation de ce semi-conducteur avec un rayonnement UV provoque un mouvement d'électrons au sein du système cristallin de ce matériau, qui engendre, en présence de molécules d'eau et d'oxygène adsorbés, la formation d'espèces chimiques très réactives tels des ions superoxydes ( $\text{O}_2^-$ ), hydroxyles ( $\text{OH}^-$ ) et hyperoxydes ( $\text{HO}_2$ ). La présence de ces espèces entraîne la dégradation des COV de l'air présents à la surface du matériau semi-conducteur. Le mécanisme d'épuration s'achève par la désorption des produits de minéralisation, soit le  $\text{CO}_2$  et la vapeur d'eau (Huang *et al.* 2016; Mamaghani *et al.*, 2017; Mo *et al.*, 2009a; Yu et Kim, 2013; Zhao et Yang, 2003; Zhong *et al.*, 2010; Zhong et Haghghat, 2015). La destruction des micro-organismes serait également effectuée par l'entremise des radicaux libres ( $\text{OH}$ ,  $\text{HO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) précipités par l'action des UV sur le semi-conducteur. Cet effet biocide peut être couplé à l'emploi de lampes générant des UVC ou des UVA, reconnus pour engendrer des perturbations à l'ADN des cellules vivantes (Sanchez *et al.*, 2012). Selon la dose reçue, les cellules seront éliminées ou la division cellulaire sera définitivement interrompue (voir section 3.4.7). Dans leur revue de la littérature, Mo *et al.* (2009a) rapportent également que l'utilisation d'un catalyseur de Ti, dopé avec des métaux de transition (ex. : vanadium [V], chrome [Cr], manganèse [Mn], fer [Fe], nickel [Ni], cuivre [Cu], argent [Ag]), peut étendre les capacités d'interaction lumineuse avec des photons issus du spectre visible (voir également Pham et Lee, 2014). L'ajout de métaux (ex. : zinc [Zn], cadmium [Cd], aluminium [Al]) et d'azote peut également modifier avantageusement la structure, la stabilité et l'efficacité du catalyseur (Yu et Kim, 2013).

Les systèmes d'OPC se divisent en deux grandes catégories : les systèmes dynamiques (intégrés aux systèmes de ventilation centralisés ou portatifs) et les matériaux photoactifs. La première catégorie regroupe les modules de traitement intégrés aux SVC de même que divers types d'appareils autonomes qui intègrent diverses fonctions d'épuration et de conditionnement de l'air intérieur. Un minimum de 4-5 passages est généralement nécessaire pour que leur effet soit significatif sur la QAI. En ce qui concerne la seconde catégorie, des auteurs ont publié des résultats d'intérêt portant sur le développement de textiles photoactifs dont le pouvoir épurateur pourra être fort certainement bonifié au cours des prochaines années (Bourgeois *et al.*, 2012).

Il en va de même pour les systèmes dynamiques qui ont fait – et font encore – l'objet de nombreuses recherches. En effet, Mo *et al.* (2009a), Zhong *et al.* (2010), l'OQAI (2012), Huang *et al.* (2016) et Mamaghani *et al.* (2017) rapportent notamment que ce type de système pourrait être amélioré en optimisant la photoréactivité du catalyseur (notamment à la lumière solaire), ses capacités d'adsorption au regard des COV et sa résistance à la désactivation. Il pourrait également s'avérer utile d'identifier les paramètres et conditions d'utilisation optimales pour favoriser la minéralisation complète des contaminants et éviter la production de coproduits. Alors que Yang *et al.* (2004) ont développé un modèle pour étudier et définir les paramètres clés pour optimiser ce type de dispositif, Destailats *et al.* (2012) ont développé un dispositif expérimental où chacun des constituants du système a été optimisé afin d'atteindre les meilleures performances possible.

### Facteurs à considérer

Il existe de nombreux facteurs susceptibles d'influencer les performances d'un système d'OPC. Ceux-ci peuvent être regroupés en sous-ensembles de déterminants internes (propres aux spécificités techniques de l'appareil) et externes (associés aux milieux et aux contaminants concernés) qui affectent non seulement la vitesse de réaction, mais également le taux de formation de produits secondaires indésirables. Une synthèse de l'effet respectif de ces facteurs est présentée dans le tableau de l'Annexe 3.

À la lumière des informations répertoriées, il appert important de faire usage d'un système possédant un catalyseur poreux et de grandes surfaces spécifiques ainsi qu'un ventilateur à faible débit afin d'optimiser l'oxydation complète des contaminants de l'air intérieur (Chen *et al.*, 2015; Destailats *et al.*, 2012; Farhanian *et al.*, 2013; Hodgson *et al.*, 2007; Jo et Kim, 2009; Huang *et al.*, 2016; Mamaghani *et al.*, 2017; Mo *et al.*, 2009a; Sharmin et Ray, 2012; Sleiman *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2007; Yu et Kim, 2013; Zhong *et al.*, 2010, 2013a; Zhong et Haghghat, 2015). L'usage de systèmes équipés de lampes ultraviolettes sous vide (UVV10-200 nm) devrait également être préconisé, car elles possèdent une meilleure capacité de dégradation des contaminants de l'air intérieur que les lampes UVC (de 100 à 280 nm) (Farhanian et Haghghat, 2014; Wang *et al.*, 2007). Par ailleurs, puisque le processus de production d'électrons et de trous d'électrons pairés est proportionnel à l'intensité du rayonnement UV (Huang *et al.*, 2016; Mo *et al.*, 2009a; Zhong *et al.*, 2013), les lampes UVV sont également susceptibles d'engendrer davantage de produits de dégradation secondaires (Farhanian *et al.*, 2013; Zhong *et al.*, 2013). Ces derniers auteurs rapportent que l'emploi de lampes UVV engendre la production d'ozone et de radicaux hydroxyles (par photolyse de l'oxygène de l'air ambiant), qui joueraient un rôle dans la dégradation primaire de certains contaminants et dans l'efficacité générale du processus d'OPC (Destailats *et al.*, 2012; Jo et Kim, 2009; Zhao et Yang, 2003; Zhong *et al.*, 2010, 2013; Zhong et Haghghat, 2015). Mo *et al.* (2009a) comptent parmi les auteurs qui soulignent également que la configuration et le type de réacteur jouent un rôle prépondérant au regard de l'efficacité et de la capacité de tels dispositifs.

Sharmin et Ray (2012) rapportent que certaines diodes (UVLED) peuvent maintenant offrir des performances comparables à celles des traditionnelles lampes et tubes au mercure, alors que la revue

de Wang *et al.* (2007) rapporte que la lumière du jour peut également offrir des performances respectables en employant un catalyseur d'oxyde de titane dopé à l'azote. Zhong et Haghghat (2015) rappellent toutefois que les lampes UV doivent parfois être remplacées afin d'optimiser les performances du système. Mamaghani *et al.* (2017) rapportent également que la présence de siloxane dans l'air ambiant peut mener à la formation de gel de silice amorphe à la surface du catalyseur, qui inhibe complètement toute réaction. Sleiman *et al.* (2009) rapportent la formation de dépôts (polymère de carbone, polyphénol, acide benzoïque). Dans de telles conditions, une régénération du catalyseur s'impose (généralement en irradiant le catalyseur aux UV pour une durée prolongée, en nettoyant le système à chaud avec du peroxyde ou en purgeant avec de l'ozone) afin de rétablir ses performances (Mamaghani *et al.*, 2017). Afin de contrer ces problèmes, il est recommandé de faire usage d'un préfiltre afin d'éviter les dépôts de graisse ou de suie sur la lampe (Zhong *et al.*, 2010; Zhong et Haghghat, 2015) ou les dépôts de polymère sur la surface du catalyseur (Mo *et al.*, 2009a).

En ce qui concerne les conditions d'utilisation de ce type de dispositif, il ne s'avère pas recommandé de faire usage d'un système d'OPC dans des contextes de forte humidité (ex. : postinondation, postincendie) en raison d'une diminution marquée de leur efficacité dans de tels contextes (Ao *et al.*, 2003 [au regard du NO et des BTEX]; Farhanian *et al.*, 2013 [éthanol]; Jo et Kim, 2009 [BTEX]; Mo *et al.*, 2009a; Sharmin et Ray, 2012 [COV]; Yu et Kim, 2013, Yu *et al.*, 2010; Zhong et Haghghat, 2015). Ces auteurs rapportent que la présence d'humidité excessive peut contribuer à saturer les sites de catalyse actifs et pourrait même ultimement atténuer une fraction du rayonnement UV incident. En contrepartie, Sharmin et Ray (2012), Zhong *et al.* (2010 et 2013), Sleiman *et al.* (2009) et Yu et Kim (2013) comptent parmi les auteurs qui rapportent que cet effet est tributaire de la nature du ou des contaminants à atténuer et, qu'en l'absence complète d'humidité (conditions de laboratoire), certaines réactions peuvent être entièrement inhibées (voir revues de Wang *et al.*, 2007; Zhao et Yang, 2003; Mo *et al.*, 2009a). En effet, Mamaghani *et al.* (2017) soulignent les effets antagonistes de l'HR sur le processus d'OPC; de faibles niveaux d'HR permettent le maintien et le renouvellement d'ions hydroxyles hautement réactifs à la surface du catalyseur. Sleiman *et al.* (2009) précisent ainsi qu'en plus d'accroître le potentiel de conversion des contaminants, le faible niveau d'HR augmenterait la production de formaldéhyde à titre de produit d'oxydation incomplète. En fonction des espèces présentes, un taux d'HR de 10 à 30 % optimiserait la conversion puis la minéralisation de plusieurs COV. C'est ainsi que Jo et Park (2004) ont démontré par le biais d'essais en laboratoire que la conversion de COV à des concentrations communément retrouvées dans l'air intérieur n'était pas significativement affectée par l'HR lorsque celle-ci demeure dans une plage dite normale.

En utilisant le 1-butanol comme indicateur, Farhanian et Haghghat (2014) ont démontré que l'augmentation de la concentration des contaminants présents dans l'air intérieur diminue l'efficacité de minéralisation du système à oxydation photocatalytique (voir revues de Chen et Zhang, 2008; Mamaghani *et al.*, 2017; Mo *et al.*, 2009a; Wang *et al.*, 2007; Zhong *et al.*, 2010). À titre d'exemple, Tsai *et al.* (2008) ont montré que la dégradation du toluène à une concentration de 2 ppm était 5 fois plus rapide qu'à 10 ppm. Bien que Sleiman *et al.* (2009) aient démontré que ce type de contingence n'était pas suffisant pour altérer les performances du système lorsque les concentrations de contaminants (ici le toluène) demeuraient à l'intérieur de la fenêtre de concentrations usuellement rencontrées dans l'environnement intérieur, les systèmes d'OPC devraient être utilisés dans un contexte de faible exposition environnementale. De plus, puisqu'il existe un phénomène de compétitivité entre les différents COV au regard de leur adsorption sur le catalyseur (voir études de Chen et Zhang, 2008; Mamaghani *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2007), les composés hydrophiles seraient plus aisément adsorbés – puis dégradés – à la surface du catalyseur (en raison de la présence d'ions hydroxyles) que les composés hydrophobes (Zhang, 2007; Zhong *et al.*, 2010, 2013; Zhong et Haghghat, 2015).

Deux mécanismes de réaction régissent la formation de produits secondaires. Le premier est la production d'aldéhyde ou de cétone à la suite de l'oxydation directe ou de l'hydrogénisation des contaminants; le second est la formation d'oléfines à la suite de la déshydratation de ces premiers (Farhanian et Haghghat, 2014). Des essais expérimentaux ont démontré que l'oxydation incomplète de bioeffluents humains pouvait engendrer la production de méthanol et d'éthanol alors que l'oxydation incomplète de COV, couramment rencontrés dans l'air ambiant (acétone, butanol, hexane, octane, xylène, toluène), produirait notamment du formaldéhyde, de l'acétaldéhyde et de l'acide formique. Alors que l'exposition à plusieurs de ces coproduits peut engendrer un risque à la santé, leur nature et leur concentration sont tributaires de la nature et de la concentration initiale des contaminants (Blondeau *et al.*, 2007; Farhanian *et al.*, 2013; Farhanian et Haghghat, 2014; Gunschera *et al.*, 2016; Hodgson *et al.*, 2007; Kartheuser *et al.*, 2012; Kolarik et Wargocki, 2010; Mamaghani *et al.*, 2017; Mo *et al.*, 2009a; Yu et Kim, 2013; Zhong *et al.*, 2010; Zhong et Haghghat, 2015). L'utilisation de l'OPC devrait donc être proscrite dans les espaces où les principales sources de contamination de l'air intérieur sont des bioeffluents humains tels que l'éthanol et le méthanol (Hodgson *et al.*, 2007; Kolarik et Wargocki, 2010) ou des composés organochlorés (Gunschera *et al.*, 2016). Pour ces mêmes raisons, il est recommandé d'éviter l'utilisation de l'OPC lorsque la concentration des contaminants est élevée et que leur nature est diverse, afin d'optimiser l'efficacité d'épuration du système (Wang *et al.*, 2007).

Certains auteurs ont tenté de pallier ces problèmes en combinant diverses technologies. Gunschera *et al.* (2016), Mamaghani *et al.* (2017) et Del Curto *et al.* (2016) ont ainsi démontré que l'intégration d'un médium adsorbant contenant du charbon activé peut contribuer à limiter le problème de dispersion de COV et d'autres produits de réaction secondaire tout en offrant un effet antimicrobien. De façon complémentaire, Pierpaoli *et al.* (2017) ont étudié l'efficacité de l'OPC (TiO<sub>2</sub>/UV) combinée à la filtration électrostatique. De façon générale, ces auteurs affirment que le couplage de la photocatalyse avec un champ électrique améliore l'efficacité du processus d'épuration (d'environ 12 %) et favorise plus spécifiquement la conversion du monoxyde d'azote (NO). La production de certains coproduits (tel l'ozone) demeure cependant observée. Pour leur part, Yu *et al.* (2010) ont démontré que l'ajout d'un générateur d'ozone à un système d'OPC (TiO<sub>2</sub>/UV) était en mesure d'augmenter l'efficacité de décomposition du limonène ainsi que la réduction d'émission de produits secondaires. En revanche, ce dispositif expérimental émet également de l'ozone.

En dépit de ces constats, Zhang *et al.* (2011) soulignent que les conditions et mécanismes par lesquels sont formés les produits secondaires indésirables méritent d'être davantage étudiés afin d'optimiser ce type de dispositif d'épuration. Une analyse de risque effectuée par Mo *et al.* (2009b) a démontré qu'en dépit de la production de coproduits au potentiel délétère (voire cancérigène), la faible concentration de ces derniers au regard du contaminant à atténuer (ici le toluène) fait de l'OPC une mesure d'épuration d'intérêt.

Enfin, il est important de souligner que Varner *et al.* (2010) et l'OQAI (2012) rapportent que les nanoparticules de TiO<sub>2</sub> peuvent constituer un risque cancérigène pour la santé (classé 2B par le Centre international de recherche sur le cancer [CIRC]). Le risque de développer un cancer du poumon serait proportionnel à la concentration, mais dépendrait également de la spéciation chimique et du type de matériel, et concernerait principalement l'inhalation de particules fines enrichies en TiO<sub>2</sub>. Cette préoccupation concernerait davantage les matériaux photoactifs qui pourraient se dégrader (ex. : tapisserie).

## Rendement et bénéfices

De nombreux auteurs ont effectué des études portant sur l'efficacité de différents types de système d'OPC pour atténuer les concentrations de COV (Ao *et al.*, 2003; Destailats *et al.*, 2012; Hodgson *et al.*, 2007; Jo et Kim, 2009; Jo *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2005; Sharmin et Ray, 2012; Tsai *et al.*, 2008; Zhong *et al.*, 2013) et les contaminants microbiologiques (Paschoalino et Jardim, 2008; Sanchez *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2006) (voir Annexe 4). À titre d'exemple, Huang *et al.* (2016) ont brossé un intéressant tableau des différentes études ayant rapporté des mesures d'efficacité de différents dispositifs d'OPC au regard de l'atténuation de certains contaminants. Ces auteurs rapportent ainsi des capacités de retrait variant de plus de 99 % (notamment au regard du toluène, du benzène et de l'acétaldéhyde après 30 min ou plus d'utilisation ininterrompue) à 20 % (au regard du toluène après 2 h d'utilisation). Ces auteurs soulignent le rôle incontestable du design du système, de la composition du catalyseur et de différents facteurs environnementaux.

Hodgson *et al.* (2007), Zhong *et al.* (2013) et Kolarik et Wargocki (2010) rapportent également la capacité de conversion qui varie de façon importante d'un contaminant à l'autre. Alors que Hodgson *et al.* (2007) et Zhong *et al.* (2013) ont présenté une intéressante liste des composés plus aisément décomposables (alcool, glycol éther > aldéhyde, cétone, terpène > composés organiques aromatiques > composés allogénés et aliphatiques), Kolarik et Wargocki (2010) soulignent que la capacité d'épuration (tous types de contaminants confondus) n'excède toutefois pas les bénéfices qui pourraient être obtenus si le taux de ventilation était optimisé.

En 2012, des chercheurs de l'OQAI ont réalisé une étude portant sur l'efficacité et l'innocuité des systèmes d'épuration d'OPC. L'OQAI (2012) rapporte les performances de 14 types de matériaux photoactifs enrichis en TiO<sub>2</sub> et dédiés aux environnements intérieurs aux propriétés dites dépolluantes ou antibactériennes, dont des peintures et des papiers peints. Bien que ces produits possèdent une efficacité théorique bien documentée, rares sont les essais réalisés en conditions réelles. L'OQAI rapporte de plus que la performance de ces systèmes reste contestable et que leur utilisation est potentiellement nuisible pour la QAI en raison de la formation de coproduits et, dans certains cas, des microparticules d'oxyde de titane potentiellement néfastes pour la santé.

## 3.5 Études comparatives

---

Depuis plusieurs décennies, diverses équipes de recherche se sont penchées sur l'évaluation comparative des systèmes d'épuration de l'air intérieur. La plus ancienne étude identifiée par le biais de la présente revue de la littérature (soit celle de Offermann *et al.*, 1985) rapportait que les plus petits modèles d'épurateurs portables avaient une influence négligeable sur les concentrations de particules fines issues de la fumée de cigarette (0,5 µm), mais que les filtres HEPA ainsi que, dans une moindre mesure, les précipitateurs électrostatiques possédant une capacité de production d'air épuré variant de 100 à 300 m<sup>3</sup>/h, pouvaient s'avérer utiles pour améliorer la QAI. Ces auteurs reconnaissaient toutefois le rôle primordial de la ventilation dans le contrôle des concentrations de contaminants de nature gazeuse.

Près de dix ans plus tard, Fox (1994) rapportait que davantage d'études transversales randomisées à double insue devraient être effectuées afin de documenter l'efficacité des dispositifs d'épuration au regard des bénéfices sanitaires attendus. Ces études devraient être effectuées en milieux résidentiels, auprès de différents types d'individus (ex. : enfants, personnes asthmatiques, personnes âgées) et s'appuyer sur des devis d'évaluation à long terme (ex. : 1 an). Selon cet auteur, le suivi d'individus aux prises avec des symptômes asthmatiques pourrait s'avérer pertinent puisqu'il est

possible d'objectiver ceux-ci à l'aide de la spirométrie, de la méthacholine et de leurs allergies par des tests cutanés.

Une autre décennie plus tard, Chen *et al.* (2005) rapportaient que l'adsorption sur média de charbon activé constituait toujours la technologie commerciale la plus efficace pour l'élimination des COV en milieu intérieur. Tout en soulignant que l'OPC pouvait s'avérer une technologie attrayante, ils rapportaient que les appareils disponibles sur le marché ne se comportaient pas de façon uniforme et que ceux-ci pouvaient générer certains produits secondaires. Ils ne considéraient ainsi pas opportun de faire usage des ozonateurs et des ionisateurs pour contrôler les concentrations de COV en milieux occupés, et ce, malgré leurs indéniables avantages sur les autres technologies disponibles (plus silencieux, consommation énergétique moins élevée).

Shaughnessy et Sextro (2006) ont publié une intéressante étude portant sur la capacité relative des différents types de dispositifs d'épuration disponibles sur le marché américain. Dans leur analyse, ces auteurs rapportaient que la plupart des épurateurs d'air portables munis de filtres et testés selon la méthode approuvée par l'AHAM était en mesure d'atteindre ~ 80 % du critère d'efficacité prescrit par l'association américaine au regard des particules de faible diamètre (< 2 µm; tels les aérosols) mais que l'efficacité relative de ces dispositifs déclinait au regard des particules plus volumineuses (> 2 µm; tels les pollens, poussières, acariens et autres allergènes communs). Les auteurs rapportent que les appareils disponibles sur le marché n'étaient pas suffisamment puissants pour atteindre les critères d'efficacité pour épurer l'air d'une pièce typique de 200 pi<sup>2</sup>. En ce qui concerne l'épuration de contaminants gazeux, les dispositifs testés possédaient une faible efficacité. Seuls les appareils munis de cartouches de charbon activé de grand volume pouvaient offrir un modeste niveau d'efficacité. Le type d'appareil le plus performant évalué faisait appel aux principes de l'adsorption sur charbon activé et de l'OPC. Alors que le rôle du préfiltre adsorbant était décrit comme prédominant, l'épurateur photocatalytique engendrait la production de coproduits si bien que Shaughnessy et Sextro (2006) considéraient cette technologie comme étant limitée.

Daniels (2007) a effectué une étude comparative de différents types de systèmes disponibles sur le marché canadien. Celui-ci admet l'intérêt croissant des concepteurs de systèmes d'épuration de l'air intérieur pour les technologies universelles (telle l'OPC) et soutient que les ingénieurs tentent de trouver des solutions aux problèmes de consommation énergétique, de production de produits d'oxydation incomplète et d'entretien des médias catalyseurs. Sans toutefois exprimer une préférence au regard d'une technologie en particulier, il souligne que le développement accéléré de nouvelles approches d'épuration doit maintenant faire place à des approches diagnostiques améliorées de la QAI applicables aux milieux résidentiels, institutionnels et commerciaux.

Dans l'optique d'appuyer le développement d'une stratégie multifactorielle visant à lutter contre l'asthme et les allergies, Wallace (2008) a testé l'utilisation de diverses technologies de contrôle environnemental des allergènes pouvant être appliquées en milieu résidentiel. Cette stratégie comprenait l'utilisation concomitante d'un aspirateur et d'un ventilateur portatif muni d'un filtre HEPA, de housses antiacariens ainsi que l'élimination des sources d'allergènes. L'usage complémentaire d'un générateur d'ions de forte puissance et d'un ozonateur a révélé d'intéressantes capacités d'épuration des allergènes mais également le dépôt de charges statiques sur les surfaces solides des habitations ainsi que de fortes concentrations d'ozone, conséquences jugées inacceptables.

En conclusion de sa revue de la littérature portant sur l'efficacité des épurateurs d'air en milieux résidentiels, Barn (2010) souligne qu'en dépit de leur performance théorique, l'efficacité des épurateurs d'air varie grandement selon leur conception, leur installation, leur utilisation et leur entretien, ainsi que selon la nature et la concentration des contaminants à gérer. De plus, comme les

sources de contamination de l'air intérieur peuvent être multiples, intenses et continues, les performances de tels appareils peuvent s'avérer insignifiantes s'ils ne sont pas implantés avec des mesures de gestion complémentaires (ex. : retrait des tapis). Cet auteur mentionne néanmoins que la ventilation couplée à l'épuration (filtration HEPA) demeure une avenue de gestion efficace des polluants tant de sources intérieure qu'extérieure, et ce, surtout lorsque la qualité de l'air se dégrade au point de préconiser le confinement. En plus de reconnaître que l'utilisation d'épurateurs pourrait offrir certains bienfaits pour la santé des occupants, il reconnaît du même élan le manque de données probantes à cet effet.

Zhang *et al.* (2011) ont évalué quelque 59 articles scientifiques afin de déterminer l'efficacité relative des dispositifs mécanisés (*fan-driven*) d'épuration de l'air intérieur. Les conclusions de cette revue de la littérature s'articulent en quatre points. D'abord, ces auteurs rapportent qu'aucune des technologies identifiées n'est en mesure de retirer efficacement les contaminants de l'air intérieur alors que plusieurs d'entre elles sont même susceptibles de générer des produits secondaires indésirables. Ils précisent ensuite que la filtration de contaminants particuliers ainsi que l'adsorption de contaminants gazeux comptent parmi les technologies disponibles les plus efficaces actuellement, mais que des informations sont manquantes concernant l'entretien requis ainsi que la performance à long terme de ces dispositifs. Ils rapportent également qu'il s'avère difficile de comparer la performance spécifique des dispositifs sur une base commune (en employant par exemple le CADR) compte tenu du manque d'uniformité dans les devis d'évaluation. Ces auteurs constatent qu'il serait nécessaire que les organismes compétents développent un système d'étiquetage afin de clairement faire état aux consommateurs des caractéristiques du système (ex. : CADR, contaminants cibles, consommation énergétique, émission de coproduits, durée de vie des médias épurateurs). Pour parvenir à ces fins, des chambres d'essai standardisées devraient être développées et utilisées par ces derniers. Enfin, Zhang *et al.* (2011) terminent leur analyse en signalant que de nouvelles recherches sont nécessaires afin de convenir des technologies qui devraient être recommandées pour assurer le maintien de la QAI en milieux intérieurs.

Sultan *et al.* (2011) ont pour leur part effectué une analyse comparative en laboratoire, pour le compte du Conseil national de recherches Canada (CNRC), portant sur la performance des différents types de technologies disponibles sur le marché (soit une cinquantaine) en comparant celles-ci sur la base d'une série de critères objectifs (efficacité, faisabilité, coût, bénéfices sanitaires, etc.). Les auteurs rapportent d'abord que les dispositifs d'épuration de l'air intérieur peuvent s'avérer efficaces pour réduire les concentrations de contaminants de l'air intérieur. Les résultats de l'analyse comparative effectuée ont permis de classer les avenues de gestion de l'air intérieur par ordre d'appréciation générale : VRC/VRE > purificateurs d'air portatifs (filtre électrostatique et HEPA) > nettoyage général des conduits avec et sans biodécontamination > panneaux passifs intérieurs (OPC passive). Comme mentionné, l'utilisation d'un échangeur d'air récupérateur de chaleur ou d'énergie demeure la meilleure technologie actuellement disponible. La revue de la littérature effectuée en parallèle a permis d'observer qu'un nombre limité d'études était en mesure de fournir des preuves concluantes sur l'amélioration de l'état de santé des occupants suivant l'utilisation de technologies d'épuration de l'air intérieur. Ils rapportent également que l'utilisation de ce type de système peut poser des risques pour les occupants, et ce, notamment lors des activités d'entretien et d'utilisation courante des dispositifs ainsi que par le biais de l'exposition à des coproduits (COV, particules, O<sub>3</sub>). Ces auteurs soulignent enfin que les manufacturiers n'adressent généralement pas de contre-indications concernant l'utilisation de tels dispositifs en présence de vapeurs de produits d'entretien ménager, de biocides ou de solvants, ni sur la façon de disposer des médiums utilisés de façon convenable.

Molgaard *et al.* (2014) ont réalisé une étude en laboratoire portant sur la capacité relative de cinq différents types d'appareils destinés à l'épuration de l'air intérieur de résidences et de bureaux. Les résultats de celle-ci ont montré que les dispositifs de filtration HEPA de même que le dispositif de captation électrostatique (muni d'un préfiltre et d'un postfiltre au charbon activé) présentaient une meilleure capacité de rétention des particules de taille supérieure à 100 nm que le dispositif générateur d'ions testé (CADR de 300 m<sup>3</sup>/h; 70 m<sup>3</sup>/h; 40 min 3 s/h, respectivement). Ce dernier ne présentait d'ailleurs une capacité de rétention élevée que pour les particules de très faible diamètre (< 10 nm).

En conclusion de leur revue de la littérature, Luengas *et al.* (2015) rapportaient qu'aucune technologie ne pouvait être jugée pleinement satisfaisante pour l'obtention d'un air intérieur de meilleure qualité. Ces auteurs fondent de grands espoirs dans le développement et la commercialisation de technologies de purification hybrides ou alternatives, tels les systèmes hybrides plasma-catalytiques, les systèmes d'ozonation hybrides et les systèmes biofiltres-adsorption. La valorisation des qualités individuelles et combinées des technologies dites traditionnelles constitue une opportunité pour développer de nouvelles approches innovantes plus performantes.

Siegel (2015) rapporte d'emblée que les épurateurs d'air peuvent agir comme des puits, mais également comme des sources de contaminants. Bien que diverses technologies soient actuellement disponibles, la caractérisation de leur impact primaire (réduction de la concentration de contaminants) et secondaire (consommation énergétique et production de coproduits) n'est toutefois pas complètement cernée. Ces impacts demeurent d'ailleurs très largement modulés par le type d'environnement intérieur à traiter de même que par le type d'appareil utilisé.

Dans leur revue de la littérature, Kim *et al.* (2017) rapportent que les technologies d'ionisation de l'air (plasma, ionisation, filtration électrostatique) permettent de réduire les concentrations de COV et de particules, sans produire autant de coproduits que d'autres méthodes (ozonation), et ce, à faible coût. Alors que ces auteurs reconnaissent que la filtration et l'adsorption demeurent plus sécuritaires pour les utilisateurs, ils souhaitent toutefois que davantage de recherches soient effectuées dans ce domaine.

En 2017, l'ANSES a publié un intéressant rapport faisant état des résultats d'une revue de la littérature portant sur l'efficacité des épurateurs d'air. Le comité d'experts impliqué rapportait que, selon l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de démontrer scientifiquement l'efficacité et l'innocuité des dispositifs proposés sur le marché. Selon ces experts, même si l'utilisation de certains de ces dispositifs peut contribuer à diminuer momentanément la charge de contaminants de l'air intérieur, ceux-ci peuvent également dégrader la QAI en émettant des nanoparticules de même que des composés potentiellement plus nocifs que les contaminants devant faire l'objet d'un traitement. Les mêmes critiques sont adressées au regard des aérosoliseurs (*sprays* assainissants), dont la majorité contient des solvants organiques et des COV susceptibles d'irriter les muqueuses des occupants et d'exacerber les réactions asthmatiques. En guise de solution, l'agence propose aux personnes soucieuses d'assainir l'air de leur résidence d'utiliser la ventilation naturelle (ouvrir leur fenêtre 10 min matin et soir) et de pratiquer la réduction à la source.

L'ASHRAE (2018) a effectué une analyse rigoureuse des données scientifiques disponibles concernant l'efficacité des différents dispositifs d'épuration de l'air intérieur. L'association rapporte que les technologies faisant appel à la filtration sont reconnues pour être en mesure de réduire les concentrations de contaminants particulaires, mais qu'en revanche seules des preuves jugées modestes témoignent des effets positifs sur la santé des occupants, notamment à l'égard de la réduction des symptômes d'asthme ou d'allergies. Les modèles prédictifs utilisés par certains

auteurs prédisent des réductions importantes de la morbidité et de la mortalité associées à la réduction des expositions intérieures aux particules de source extérieure, mais ces avantages pour la santé n'ont pas été vérifiés empiriquement. Sans être appuyée par un nombre important d'études concluantes traitant des bienfaits sur la santé des occupants, l'utilisation de filtres électroniques, de générateurs d'ions et de systèmes d'OPC ont montré des capacités d'épuration très variables alors que l'emploi de technologies générant de l'ozone devrait être évité. En dépit des risques associés à l'exposition aux rayonnements ionisants, les technologies faisant usage de l'IGUV s'avèrent efficaces pour inactiver les virus, les bactéries et les champignons. Enfin, l'association souligne que trop peu de données probantes existent concernant les bénéfices à la santé pouvant être engendrés par l'utilisation d'épurateurs d'air, mais assume qu'une telle approche pourrait être envisagée comme une mesure alternative à la ventilation.

## 4 Discussion

### 4.1 Analyse transversale des technologies disponibles

---

Comme rapporté par certains des auteurs consultés, le choix d'utiliser une ou plusieurs technologies d'épuration combinées doit s'appuyer sur certains critères bien définis tels que leur efficacité, leurs coûts (achat, consommation énergétique, entretien), mais surtout l'effet attendu sur la QAI et la santé des occupants. En effet, ces systèmes sont généralement destinés à atténuer les inconforts ainsi que les symptômes que pourraient éprouver certains occupants à la suite de l'exposition à des contaminants présents en milieux intérieurs. Il s'avère donc essentiel que les dispositifs utilisés possèdent une efficacité démontrée au regard de l'épuration des contaminants ciblés et que ceux-ci n'engendrent pas de conséquences néfastes directes (ex. : production de coproduits) ou indirectes (ex. : gestion des médiums épurateurs souillés), qui viendraient entraver les bénéfices nets anticipés. Il faut toutefois souligner qu'il semble y avoir un large consensus à l'effet qu'aucune des technologies actuellement disponibles ne serait en mesure de contrer tous les contaminants potentiels de l'air intérieur tout en offrant les qualités nécessaires pour être aisément déployées et utilisées par les occupants de milieux résidentiels sans occasionner de contraintes ou de risques potentiels pour leur santé.

Afin de répondre spécifiquement au mandat confié par la DSPublique05, les auteurs du présent document ont élaboré un tableau récapitulatif des technologies disponibles et de leurs principales caractéristiques (voir Tableau 1). Les lecteurs qui souhaiteraient obtenir de plus amples informations concernant l'efficacité des dispositifs associés à cette liste, leurs modalités d'utilisation optimale, leur effet potentiel sur la QAI et la santé des occupants de même que les contextes d'utilisation dans lesquels ceux-ci devraient être proscrits sont invités à consulter les sections 3.4.1 à 3.4.8.

**Tableau 1 Description sommaire des technologies d'épuration disponibles et de leurs principales caractéristiques**

Technologie	Processus actif	Contaminants retirés	Contaminants transformés (puits)	Coproduits possibles	Consignes d'entretien	Préoccupations sanitaires
Filtration mécanique	Rétention des particules sur un média de porosité variable	Particules en suspension	Captation sur le média filtrant	COV, agents microbiens	Remplacement régulier des filtres souillés ou colmatés	Média filtrant souillé et potentiellement émissif
Adsorption	Sorption des gaz et des aérosols sur un média adsorbant	COV	Captation sur le média adsorbant	COV, agents microbiens	Remplacement régulier des médias adsorbants souillés	Média adsorbant souillé et potentiellement émissif
Captation électrostatique	Transfert de charge vers les particules et captation sur un média polarisé	Particules fines en suspension	Captation sur le média polarisé	Ozone	Nettoyage régulier des plaques collectrices	Exposition possible à un courant de haut voltage et à l'ozone
Ionisation	Génération d'ions et transfert de charge aux contaminants	Particules fines et COV	Précipitation et minéralisation des contaminants en CO <sub>2</sub> et H <sub>2</sub> O	Produits d'oxydation incomplète (COV)	-	Exposition à l'ozone et aux coproduits
Ozonation	Oxydation des molécules organiques par le biais de l'ozone	COV	Minéralisation des contaminants en CO <sub>2</sub> et en H <sub>2</sub> O	Ozone et produits d'oxydation incomplète	-	Exposition à l'ozone et aux coproduits
Plasma	Oxydation des contaminants par le biais d'un intense champ électromagnétique	Particules fines et COV	Minéralisation des contaminants en CO <sub>2</sub> et en H <sub>2</sub> O	Produits d'oxydation incomplète (COV)	Remplacement du média catalyseur	Exposition à l'ozone et aux coproduits, consommation énergétique élevée
Ultraviolet	Inactivation microbienne par UV	Agents microbiens	Destruction des cellules viables	Rayonnement UV	Remplacement des tubes ou des lampes	Exposition aux UV
Photocatalyse	Oxydation des contaminants sur surface solide catalysée par UV	COV	Minéralisation des contaminants en CO <sub>2</sub> et en H <sub>2</sub> O	Produits d'oxydation incomplète (COV)	Remplacement ou régénération du média catalyseur	Exposition aux coproduits

## 4.2 Technologies à préconiser

À l'instar des récentes revues de la littérature effectuées par l'ANSES (2017) et par l'ASHRAE (2018), les auteurs du présent ouvrage ont identifié très peu d'études dont le design est suffisamment robuste pour recommander l'usage d'un type d'épurateur en particulier. Bien que certaines technologies possèdent d'indéniables qualités ainsi que d'intéressantes perspectives de développement, celles-ci ne sauraient pour autant occulter les incertitudes associées à certains procédés d'épuration au regard de la variété de conditions et de contaminants retrouvés dans les milieux résidentiels. Leur efficacité et leur innocuité ne sont donc pas démontrées de façon indiscutable.

Le traitement de certains contaminants par le biais d'un épurateur d'air peut, d'une part, s'avérer inefficace en raison de la nature des contaminants ou d'une action incomplète, voire négligeable, avec le média ou le processus d'assainissement. D'autre part, certains coproduits indésirables peuvent être émis dans certaines circonstances, ceux-ci pouvant parfois être autant – sinon plus – nocifs que les contaminants visés par l'épuration. Exception faite de certaines études portant sur la filtration HEPA et s'appuyant sur de robustes devis, l'état actuel des connaissances ne permet pas de démontrer l'efficacité des autres technologies dans des contextes d'occupation réelle. L'adhésion non uniforme des manufacturiers à des programmes d'évaluation et de certification indépendants s'appuyant sur des critères objectifs et rigoureux ne permet pas d'affirmer qu'une technologie ou qu'un dispositif spécifique possède un rendement supérieur à un autre. Bien que Wallace (2008) faisait état de l'existence de certains programmes de certification supportés par des organismes indépendants tels l'ANSI/AHAM, le CNRC, l'AFNOR-NF et les Underwriters Laboratories (UL) (notamment au regard de la production d'ozone<sup>11</sup>, des critères de performance [CADR] et de l'efficacité énergétique), la participation des manufacturiers à ces derniers ne s'avère pas obligatoire. Il est d'ailleurs à noter que ce problème de certification s'étend à l'ensemble des technologies et services applicables à l'assainissement de l'air intérieur.

Comme précisé en introduction, plusieurs auteurs et organismes rapportent que la meilleure approche pour contrôler les contaminants en milieux intérieurs (et les risques sanitaires associés) demeure le contrôle des contaminants à la source et la ventilation. Par ailleurs, lorsque l'application de la ventilation d'un bâtiment est limitée par des contraintes d'ordre technique (ex. : absence de système de ventilation centralisé ou dans impossibilité d'ouvrir les fenêtres) ou environnemental (ex. : température trop froide ou trop chaude, mauvaise qualité de l'air extérieur, bruit élevé omniprésent), l'épuration de l'air au moyen d'un appareil portable peut être envisagée. Alors que la majorité des dispositifs d'épuration est en mesure d'atténuer les concentrations de contaminants gazeux et/ou particulaires en milieu intérieur, très peu d'études ont démontré qu'ils étaient en mesure de diminuer significativement les symptômes, manifestations et effets à la santé ressentis par les occupants (Gouvernement du Canada, 2016a; U.S. EPA, 2008, 2014a).

Ce constat est fondé sur le fait que certains contaminants particuliers (dont la majorité des allergènes) peuvent se déposer plus rapidement sur les surfaces solides d'un domicile qu'un système d'épuration résidentiel n'est en mesure de les capter (Hindy et Awad, 2000; U.S. EPA, 2014a). Les contaminants gazeux de sources diffuses sont également difficiles à contrôler en raison notamment de leur importante vitesse de diffusion dans l'air, qui tend à homogénéiser leur concentration dans un milieu donné. Certains types de contaminants sont même susceptibles de changer de phase par le

<sup>11</sup> Underwriters Laboratory (UL) Standard for Safety 867 spécifie que le filtre à air doit être utilisé pendant au moins 8 h et jusqu'à 24 h (pour atteindre une concentration de contaminant stable) dans une chambre en acier inoxydable (environ 10 pi X 10 pi X 10 pi ou environ 28 min 3 s). Le niveau d'ozone est mesuré à un point donné situé à environ 2 pouces de la sortie principale (taux d'émission d'ozone le plus élevé) de l'appareil et doit être inférieur à 50 ppb.

biais de processus d'adsorption-désorption ou de sublimation-condensation (ex. : COSV) en fonction des conditions environnementales, et ainsi faire de leur épuration une tâche complexe (Weschler et Nazaroff, 2012). C'est d'ailleurs la raison pour laquelle de nombreux auteurs préconisent l'application d'approches de gestion de la QAI mixtes ou intégrées comme stratégies de contrôle des effets à la santé, dont l'utilisation de produits biosourcés non émissifs (ex. : bois), la mitigation des sources de contaminants, l'application d'une ventilation adéquate, l'utilisation d'un aspirateur avec une sortie extérieure (ou munie d'un filtre HEPA), le retrait des tapis, etc. Lorsque ces éléments sont pris en considération dans le déploiement d'une approche intégrée de réduction des contaminants présents dans l'air intérieur, l'emploi de certains types d'épurateurs, dans certaines circonstances, peut engendrer certains bénéfices sanitaires objectivables, notamment auprès de personnes asthmatiques ou allergiques. À titre d'exemple, Lanphear *et al.* (2011) concluaient leur étude portant sur le contrôle de l'asthme infantile par le biais de filtres HEPA en mentionnant que le contrôle de l'ensemble des facteurs d'exacerbation des symptômes doit être considéré dans l'optique où une approche de gestion des expositions de source environnementale serait considérée comme une avenue thérapeutique.

Il faut toutefois rappeler qu'il existe peu d'exemples d'expériences concluantes portant sur les associations entre l'utilisation de dispositifs d'épuration de l'air intérieur et la santé humaine. Celles-ci portent majoritairement sur l'atténuation des symptômes d'allergie (Park *et al.*, 2017), de l'asthme (Brown *et al.*, 2014; Butz *et al.*, 2011; Lanphear *et al.*, 2011) et des biomarqueurs de maladies coronariennes (Allen *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2015) par le biais de l'utilisation de dispositifs de filtration HEPA. Les résultats de certaines études ont également démontré une diminution significative des symptômes éprouvés par des individus asthmatiques lorsqu'un dispositif de filtration est utilisé pour fournir de l'air assaini dans la zone respirable de ces derniers (Hacker et Sparrow, 2005; Wood, 2002).

Les revues de la littérature portant sur la présentation de preuves sur le lien entre l'épuration de l'air intérieur et la santé des occupants se limitent malheureusement aux dispositifs de filtration HEPA (Fisk, 2013; Sublett, 2011), et aucune étude originale n'a été identifiée en lien avec la réduction des symptômes chez les populations vulnérables et l'utilisation de l'une ou l'autre des technologies investiguées, à l'exception de la captation électrostatique (Hacker et Sparrow, 2005; rhinite allergique). Escombe *et al.* (2009) ont cependant montré que l'utilisation combinée de lampes UV et d'une ventilation adéquate pouvait réduire la fréquence des infections respiratoires de façon significative. Des études d'intervention bien conçues et contrôlées, permettant d'évaluer les avantages à moyen ou à long terme de l'utilisation des technologies de purification de l'air, permettraient une évaluation beaucoup plus claire de leurs impacts sur l'air et la santé, ainsi que du choix des technologies à privilégier en fonction de situations données.

Dans un contexte d'application beaucoup plus large, Burton (2006) souligne que l'utilisation d'un système de purification portatif devrait être envisagée lorsqu'un bâtiment est dépourvu d'un SVC ou encore lorsque le système de ventilation en place ne dispose pas de médias filtrants permettant la captation des particules en suspension. Alors que, dans certaines situations, il est possible d'intégrer un média filtrant à un SVC (MERV 10 ou plus), l'emploi de systèmes portatifs peut pallier certains problèmes de dégradation de la QAI en offrant une source localisée d'air épuré. Sherman et Matson (2003), Burton (2006) et la U.S. EPA (2014a) préconisent quant à eux l'utilisation de dispositifs d'épuration de l'air (dont des appareils portables) lorsque la dégradation de la qualité de l'air extérieur compromet les bénéfices pouvant être engendrés par la ventilation, comme dans le cas de feux de broussailles et de forêts ou d'épisodes de smog urbain.

Ces auteurs préconisent l'utilisation de filtres HEPA, mais également de filtres (ou précipitateurs) électrostatiques (voir Barn *et al.*, 2016) à titre de mesure palliative pour réduire les risques aigus et chroniques associés à l'exposition aux contaminants de l'air intérieur.

Comme précisé par l'ASHRAE (2018), les technologies de purification de l'air (telle la filtration) peuvent également être utilisées en remplacement de la ventilation. En effet, le Standard 62.1 ASHRAE permet aux gestionnaires de bâtiments d'appliquer des taux de ventilation inférieurs aux prescriptions en vigueur si des méthodes alternatives sont utilisées pour réduire l'exposition aux contaminants préoccupants, y compris l'épuration de l'air. Bien qu'il existe actuellement peu de données concernant l'efficacité de telles mesures d'épuration dans les grands bâtiments à titre de mesure alternative (et, en particulier, au sujet du contrôle des contaminants de nature gazeuse), l'association américaine sous-tend que la réduction du taux d'apport d'air frais en provenance de l'extérieur engendre une diminution des coûts associés au conditionnement de cet air (chauffage, humidification, climatisation, déshumidification) et que des technologies efficaces sont disponibles pour répondre à la demande des occupants. En offrant une certaine latitude aux gestionnaires de bâtiments en matière de renouvellement de l'air intérieur, l'ASHRAE offre l'opportunité aux concepteurs d'équipements de ventilation de développer des systèmes mécanisés mieux adaptés aux conditions climatiques rigoureuses (ex. : bâtiments situés en hautes latitudes) et environnementales défavorables (bâtiments érigés à proximité d'infrastructures industrielles, agricoles ou routières, générant des polluants atmosphériques), auxquelles les bâtiments et leurs occupants sont soumis. À cet égard, la prochaine version du CNB pourrait contenir une prescription sur la filtration des contaminants particulaires en provenance de l'extérieur.

L'intérêt pour les dispositifs de filtration n'est d'ailleurs pas récent. Dans la limite des documents répertoriés par le biais de la revue de la littérature effectuée, les ouvrages de plusieurs auteurs et organismes publics favorisent l'usage de la filtration à titre de technologie pour l'épuration de contaminants particulaires en milieux résidentiels (ex. : Gouvernement du Canada, 2016a; Rudnick, 2004; Sherman et Matson, 2003; U.S. EPA, 2014a). Le Medical Advisory Secretariat (2005) rapportait également que les dispositifs de filtration HEPA centralisés et portables peuvent être utilisés pour protéger le personnel des établissements de santé contre les pathogènes infectieux véhiculés par l'air tels que la tuberculose, la varicelle et la rougeole. Ils peuvent être déployés dans des situations où le risque infectieux n'est pas encore défini, mais où la transmission aérienne est probable, par exemple dans une salle d'attente hospitalière. Il rapporte également que l'emploi combiné du filtre HEPA et d'un système UVGI est efficace pour éliminer les agents pathogènes présents dans l'air, à condition que ces derniers soient correctement installés et entretenus.

Certaines données d'intérêt ont également été publiées au regard de l'utilisation des médias adsorbants, tel le charbon activé, seul ou en combinaison, avec des médias filtrants. Suivant une analyse comparative de la performance de divers systèmes d'épuration, Chen *et al.* (2005) ainsi que Siegel (2016) rapportent que l'utilisation de matrices adsorbantes constituées de charbon activé demeure l'avenue la plus efficace pour contrôler les COV en milieu intérieur. Bekö *et al.* (2009) ont démontré que la combinaison d'un média filtrant et d'un média adsorbant constitue une stratégie d'intérêt pour capter un vaste éventail de particules en suspension et de COV, en plus d'accroître la durée de vie utile du média filtrant disposé en aval du média adsorbant. Alors que Lorimier *et al.* (2005) et Yao *et al.* (2009) ont publié d'intéressantes études portant sur la capacité d'adsorption des COV par le charbon activé, Chen *et al.* (2005) soulignent toutefois que l'efficacité d'adsorption dépendrait grandement des propriétés des COV à retrancher de l'air intérieur ainsi que du média adsorbant utilisé.

À la lumière des informations rapportées par le biais de ces études, il semble donc que la filtration HEPA (couplée ou non à l'irradiation germicide UV et à l'adsorption) pourrait s'avérer une approche utile pour atténuer une vaste gamme de contaminants particulaires, microbiologiques et gazeux en milieu résidentiel, lorsque le filtre est installé, utilisé et entretenu de manière adéquate. Les auteurs du présent document tiennent cependant à souligner que l'emploi de tels dispositifs ne garantit en rien qu'une atténuation des inconforts ou des symptômes survienne ou soit observée par les occupants des milieux intérieurs concernés. Par ailleurs, l'application de ce type de mesure de gestion environnementale peut s'avérer utile dans le cadre du déploiement d'une stratégie intégrée de réduction des impacts associés à l'exposition de contaminants de l'air intérieur, stratégie qui inclut la réduction à la source ainsi que l'application de mesures de ventilation adéquates (ex. : Gouvernement du Canada, 2018).

## 5 Conclusion

Sur la base de l'ensemble des informations répertoriées dans cette publication, il appert qu'aucune technologie ou aucun appareil d'épuration commercialisé à ce jour n'est en mesure de compenser à lui seul les avenues de gestion de base de la QAI que sont le contrôle des contaminants à la source et la ventilation optimisée. En effet, la revue de la littérature effectuée a permis d'assembler un nombre limité de données probantes concernant la capacité d'épuration (relative ou combinée) de certaines technologies appliquées au traitement de l'air intérieur. Les preuves concernant l'efficacité et l'innocuité de plusieurs technologies demeurent incomplètes, et il s'avérerait hasardeux de proposer des éléments de comparaison objectifs en raison de la grande variété de devis d'évaluation utilisés pour articuler ces éléments de preuve.

Alors qu'une importante fraction des données de performance des appareils de filtration sont basées sur des expériences réalisées sur de courtes périodes et dans des chambres d'essai en laboratoire, il existe très peu d'études soigneusement réalisées en conditions réelles portant sur les associations entre l'utilisation de dispositifs d'épuration de l'air intérieur et la santé humaine. Les seules études répertoriées jugées rigoureuses concernant cet aspect portent sur la filtration HEPA. Il a aussi été possible de consulter certaines données d'intérêt concernant l'adsorption, la captation électrostatique et l'irradiation UV, mais aucune étude concernant la diminution des risques ou des symptômes associés à l'atténuation des contaminants gazeux par le biais des procédés d'ionisation, d'ozonation, de plasma et de photocatalyse auprès des populations sensibles n'a été identifiée par le biais de cette revue.

En dépit de ces éléments d'information fragmentaires, plusieurs auteurs affirment néanmoins que, lorsqu'il s'avère contraignant – voire impossible – d'appliquer les deux mesures fondamentales précédemment précisées, l'utilisation de certains dispositifs d'épuration (disposés dans des systèmes centralisés ou portables) peut s'avérer utile pour diminuer les concentrations de certains contaminants en milieu intérieur. En somme, les médias filtrants HEPA et adsorbants (filtres et cartouches de charbon activé) sont considérés par plusieurs auteurs comme des avenues de gestion prometteuses pour atténuer une variété de contaminants présents en milieux intérieurs.

Ces technologies demeurent relativement simples d'utilisation, sont abordables et efficaces pour atténuer les concentrations de contaminants particulaires et gazeux. Les coûts d'utilisation de ces technologies sont essentiellement associés à leur maintenance périodique qui implique le remplacement des filtres et des cartouches usés. Lorsque ces technologies sont utilisées de façon adéquate, elles ne génèrent pas de coproduits de façon importante ni de risque additionnel pour la santé des occupants. Les auteurs du présent avis assument que ces technologies ne sont pas plus complexes à appliquer convenablement que ne le sont l'utilisation et l'entretien des SVC, dont l'installation est maintenant obligatoire dans tous les nouveaux bâtiments ciblés par le Règlement sur l'efficacité énergétique<sup>12</sup>. De plus, de tels médias filtrants et adsorbants sont déjà fréquemment installés par le manufacturier dans certains SVC ou ventilateurs portatifs. Les auteurs du présent avis considèrent qu'il peut s'avérer pertinent d'intégrer la filtration HEPA à une stratégie de réduction des méfaits auprès de personnes asthmatiques ou polysensibilisées, sans contraintes notables. Les données probantes à cet effet demeurent peu nombreuses, mais certaines preuves prèchent en faveur de l'utilisation de la filtration HEPA et, lorsque possible, que l'air filtré soit distribué dans la zone respiratoire des individus à protéger.

<sup>12</sup> Le Code de construction du Québec précise que les bâtiments visés sont ceux I) dont l'aire de bâtiment est de moins de 600 m<sup>2</sup>; II) dont la hauteur de bâtiment est d'au plus 3 étages et III) dont l'usage principal est du groupe C et n'abritent que des logements.

Bien que beaucoup plus difficile à démontrer d'un point de vue expérimental, il est également entendu que des bénéfices corollaires peuvent être engendrés pour tous les occupants qui pourraient profiter de l'atténuation des concentrations de contaminants de l'air intérieur, dont certains sont reconnus pour leur potentiel toxique, voire cancérigène.

Sans faire abstraction de leurs qualités intrinsèques, il est important de souligner que la capacité d'un dispositif à capter ou à adsorber les contaminants de l'air intérieur ne constitue pas une indication de sa capacité à réduire les inconforts, symptômes et autres effets nocifs qui pourraient être occasionnés par ces derniers chez les occupants. La multiplicité des sources de contaminants rencontrés en milieu intérieur, combinée à la diversité des conditions environnementales dans lesquelles sont utilisés les appareils de purification de l'air intérieur, rend d'autant plus difficile l'élaboration de devis d'évaluation sanitaires représentatifs, objectifs et consensuels. Dans ce contexte, l'analyse des mécanismes de captation, d'élimination ou de transformation des contaminants impliqués dans les technologies d'épuration de même que l'évaluation de leurs effets sur les occupants constitue indéniablement une démarche pertinente pour élucider cette question et en cerner tous les enjeux.

Le choix de faire usage ou non de tels dispositifs d'épuration demeure donc discutable et implique minimalement une analyse sommaire des avantages, inconvénients et contraintes à les déployer en milieu résidentiel, surtout lorsque ceux-ci sont occupés. En ce qui concerne la situation décrite en introduction, l'utilisation de systèmes d'OPC en milieu résidentiel habité ne s'est pas avérée une solution utile pour améliorer la QAI. Au contraire, ceux-ci pourraient, hypothétiquement, avoir contribué à modifier la composition chimique des contaminants ambiants en décomposant ces derniers en constituantes moléculaires (ou coproduits), dont certaines sont reconnues pour leur caractère délétère (ex. : formaldéhyde, acétaldéhyde, acide formique). Les symptômes décrits par les occupants pourraient être en lien avec la génération de ces coproduits. De plus, il est reconnu que des conditions d'humidité élevée entraînent une diminution de l'efficacité de traitement de ce type de système.

En terminant, et afin d'éclairer de façon plus efficace les potentiels utilisateurs de ces technologies (dont la filtration) sur les enjeux qui pourraient influencer leur choix, Siegel (2015) et l'ASHRAE (2018) recommandent d'ailleurs que les organismes compétents se penchent sur l'évaluation des aspects suivants :

- développement de protocoles d'évaluation standards dans des environnements intérieurs bien caractérisés et représentatifs des milieux résidentiels, comprenant l'évaluation des effets sur la santé;
- définition de la performance à long terme des dispositifs;
- définition de la performance des dispositifs au regard de multiples contaminants;
- définition de la performance énergétique des dispositifs d'épuration;
- élaboration de documents, de réglementations et d'orientations à l'appui de la conception, de l'exploitation et de la maintenance des dispositifs;
- définition des approches d'intégration aux SVC de différentes technologies de filtration et de purification de l'air;
- développement de technologies de purification de l'air qui favorisent la ventilation en éliminant les contaminants atmosphériques tel l'ozone;

- développement d'approches permettant l'utilisation intermittente de médiums épurateurs pour faire face aux charges de pointe ou aux rejets inattendus de contaminants;
- définition des contextes spécifiques dans lesquels l'épuration pourrait permettre de réduire les apports d'air frais de source extérieure.

La mise en œuvre d'études bien conçues qui répondront notamment à ces enjeux aura non seulement l'avantage de fournir un portrait plus précis des performances des technologies disponibles, mais également d'explorer les facteurs fondamentaux qui sont susceptibles d'affecter divers enjeux de performance (consommation d'énergie, longévité, efficacité, bienfaits à la santé des occupants, etc.). Une compréhension détaillée de ces facteurs pourra éventuellement se traduire par le développement de technologies innovantes ou de techniques d'épuration existantes optimisées possédant les qualités requises pour répondre aux besoins grandissants des occupants des milieux intérieurs.



## 6 Références

- Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail. (2017). Identification et analyse des différentes techniques d'épuration d'air intérieur émergentes. France. Repéré à <https://www.anses.fr/en/system/files/AIR2012SA0236Ra.pdf>
- Agrawal, S. R., Kim, H.-J., Lee, Y. W., Sohn, J.-H., Lee, J. H., Kim, Y.-J., ... Park, J.-W. (2010). Effect of an air cleaner with electrostatic filter on the removal of airborne house dust mite allergens. *Yonsei Medical Journal*, 51(6), 918-923.
- Allen, R. W., Carlsten, C., Karlen, B., Leckie, S., van Eeden, S., Vedal, S., ... Brauer, M. (2011). An air filter intervention study of endothelial function among healthy adults in a woodsmoke-impacted community. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 183(9), 1222-1230.
- Alshawa, A., Russell, A. R. et Nizkorodov, S. A. (2007). Kinetic analysis of competition between aerosol particle removal and generation by ionization air purifiers. *Environmental Science & Technology*, 41(7), 2498-2504.
- American National Standards Institute et Association of Home Appliance Manufacturers. (2015). Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners. Washington. Repéré à <https://webstore.ansi.org/Standards/AHAM/ANSIAHAMAC2015>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2014). EinB2014 Proceedings - 3rd International Conference on energy in buildings 2014, Athens, Hellas. Repéré à [http://ashrae.gr/EinB2014/EinB2014\\_Proceedings.pdf](http://ashrae.gr/EinB2014/EinB2014_Proceedings.pdf)
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2016). ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Repéré à <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). Position document on airborne infectious diseases. Repéré à <https://www.ashrae.org/File%20Library/About/Position%20Documents/Airborne-Infectious-Diseases.pdf>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2018). ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning. Repéré à <https://www.ashrae.org/File%20Library/About/Position%20Documents/Filtration-and-Air-Cleaning-PD.PDF>
- Ao, C. H., Lee, S. C., Mak, C. L. et Chan, L. Y. (2003). Photodegradation of volatile organic compounds (VOCs) and NO for indoor air purification using TiO<sub>2</sub>: promotion versus inhibition effect of NO. *Applied Catalysis B: Environmental*, 42(2), 119.
- ASHRAE. (2013). ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Repéré à [http://catalogue.cssslaval.qc.ca/GEIDFile/Doc\\_186564.pdf?Archive=199630291781&File=Doc\\_186564\\_pdf](http://catalogue.cssslaval.qc.ca/GEIDFile/Doc_186564.pdf?Archive=199630291781&File=Doc_186564_pdf)
- Bahri, M. et Haghghat, F. (2014). Plasma- Based Indoor Air Cleaning Technologies : The State of the Art- Review. *CLEAN : Soil, Air, Water*, 42(12), 1667-1680.

- Barn, P. (2010). Épurateurs d'air domestiques et amélioration de la qualité de l'air intérieur et de la santé : revue des données probantes. Vancouver : Centre de collaboration nationale en santé environnementale. Repéré à [http://www.ccnse.ca/sites/default/files/Epurateurs\\_air\\_domestiques\\_oct\\_2010.pdf](http://www.ccnse.ca/sites/default/files/Epurateurs_air_domestiques_oct_2010.pdf)
- Barn, P., Elliott, C. T., Allen, R. W., Kosatsky, T., Rideout, K. et Henderson, S. B. (2016). Portable air cleaners should be at the forefront of the public health response to landscape fire smoke. *Environmental Health*, 15(1).
- Barn, P., Gombojav, E., Ochir, C., Laagan, B., Beejin, B., Naidan, G., ... Allen, R. W. (2018). The effect of portable HEPA filter air cleaners on indoor PM<sub>2,5</sub> concentrations and second hand tobacco smoke exposure among pregnant women in Ulaanbaatar, Mongolia: The UGAAR randomized controlled trial. *Science of The Total Environment*, 615, 1379-1389.
- Barn, P., Larson, T., Noullett, M., Kennedy, S., Copes, R. et Brauer, M. (2008). Infiltration of forest fire and residential wood smoke: an evaluation of air cleaner effectiveness. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18(5), 503-511.
- Batterman, S., Godwin, C. et Jia, C. (2005). Long duration tests of room air filters in cigarette smokers' homes. *Environmental Science & Technology*, 39(18), 7260-7268
- Bekö, G., Fadeyi, M. O., Clausen, G. et Weschler, C. J. (2009). Sensory pollution from bag-type fiberglass ventilation filters: Conventional filter compared with filters containing various amounts of activated carbon. *Building and Environment*, 44(10), 2114-2120.
- Bekö, G., Halás, O., Clausen, G. et Weschler, C. J. (2006). Initial studies of oxidation processes on filter surfaces and their impact on perceived air quality. *Indoor Air*, 16(1), 56-64.
- Berry, D., Mainelis, G. et Fennell, D. (2007). Effect of an Ionic Air Cleaner on Indoor/Outdoor Particle Ratios in a Residential Environment. *Aerosol Science and Technology*, 41(3), 315-328.
- Blackhall, K., Appleton, S. et Cates, C. J. (2003). Ionisers for chronic asthma. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3), CD002986.
- Blondeau, P., Ginestet, A., Squinazi, F., Ribot, B. et De Blay, F. (2007). Les épurateurs d'air : la solution ou le pire? *Pollution atmosphérique*, 194, 160-164. Repéré à [http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/docannexe/file/5570/160\\_164\\_blondeau.pdf](http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/docannexe/file/5570/160_164_blondeau.pdf)
- Boelter, K. J. et Davidson, J. H. (1997). Ozone Generation by Indoor, Electrostatic Air Cleaners. *Aerosol Science and Technology*, 27(6), 689-708.
- Boeniger, M. F. (1995). Use of ozone generating devices to improve indoor air quality. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(6), 590-598.
- Bourgeois, P.-A., Puzenat, E., Peruchon, L., Simonet, F., Chevalier, D., Deflin, E., ... Guillard, C. (2012). Characterization of a new photocatalytic textile for formaldehyde removal from indoor air. *Applied Catalysis B: Environmental*, 128, 171-178.
- Bräuner, E. V., Forchhammer, L., Møller, P., Barregard, L., Gunnarsen, L., Afshari, A., ... Loft, S. (2008). Indoor particles affect vascular function in the aged: an air filtration-based intervention study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 177(4), 419-425.
- Britigan, N., Alshawa, A. et Nizkorodov, S. A. (2006). Quantification of ozone levels in indoor environments generated by ionization and ozonolysis air purifiers. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 56(5), 601-610.

- Brown, K. W., Minegishi, T., Allen, J. G., McCarthy, J. F., Spengler, J. D. et MacIntosh, D. L. (2014). Reducing patients' exposures to asthma and allergy triggers in their homes: an evaluation of effectiveness of grades of forced air ventilation filters. *The Journal of Asthma: Official Journal of the Association for the Care of Asthma*, 51(6), 585-594.
- Burton, A. (2007). Indoor Air Quality: Lemon-Fresh Ozone. *Environmental Health Perspectives*, 115(7), A350.
- Burton, J. (2006). Portable Air Cleaners. *Occupational Health & Safety*. Repéré à <https://ohsonline.com/articles/2006/01/portable-air-cleaners.aspx>
- Butz, A. M., Matsui, E. C., Breyse, P., Curtin-Brosnan, J., Eggleston, P., Diette, G., ... Rand, C. (2011). A randomized trial of air cleaners and a health coach to improve indoor air quality for inner-city children with asthma and secondhand smoke exposure. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 165(8), 741-748.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2009). *Environmental control for tuberculosis: Basic upper-room ultraviolet germicidal irradiation guidelines for healthcare setting*. Repéré à <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-105/pdfs/2009-105.pdf>.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2013). Ozone. Repéré à <https://www.cdc.gov/niosh/topics/ozone/default.html>
- Chen, K., Zhu, L. et Yang, K. (2015). Tricrystalline TiO<sub>2</sub> with enhanced photocatalytic activity and durability for removing volatile organic compounds from indoor air. *Journal of Environmental Sciences*, 32, 189-195.
- Chen, R., Zhao, A., Chen, H., Zhao, Z., Cai, J., Wang, C. et Kan, H. (2015). Cardiopulmonary Benefits of Reducing Indoor Particles of Outdoor Origin. *Journal of the American College of Cardiology*, 65(21), 2279-2287.
- Chen, W., Zhang, J. et Zhang, Z. B. (2005). Performance of Air Cleaners for Removing Multi-Volatile Organic Compounds in Indoor Air. *ASHRAE Transactions*, 111, 1101-1114.
- Chen, W., Zhang, J. S. (2008). UV-PCO device for indoor VOCs removal: Investigation on multiple compounds effect. *Building and Environment*, 43(3), 246-252.
- Cheng, Y. S., Lu, J. C. et Chen, T. R. (1998). Efficiency of a portable indoor air cleaner in removing pollens and fungal spores. *Aerosol Science and Technology*, 29(2), 92-101.
- Cincinelli, A. et Martellini, T. (2017). Indoor Air Quality and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(11).
- Claudio, L. (2011). Planting Healthier Indoor Air. *Environmental Health Perspectives*, 119(10), a426-a427.
- Clausen, G. (2004). Ventilation filters and indoor air quality: a review of research from the International Centre for Indoor Environment and Energy. *Indoor Air*, 14, 202-207.
- Clausen, G., Alm, O. et Fanger, P. O. (2002). The impact of air pollution from used ventilation filters on human comfort and health. International Centre for Indoor Environment and Energy. *Indoor Air*, 338-343. Repéré à <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB6134.pdf>

- Conseil national de recherches Canada. (2016). Code national du bâtiment – Canada 2015. Ottawa. Repéré à [https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/publications/centre\\_codes/2015\\_code\\_national\\_batiment.html](https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/publications/centre_codes/2015_code_national_batiment.html)
- Curry International Tuberculosis Center. (2011). Tuberculosis Infection Control: A Practical Manual for Preventing TB. Repéré à <http://www.currytbcenter.ucsf.edu/products/tuberculosis-infection-control-practical-manual-preventing-tb>
- Daniels, S. L. (2007). On the qualities of the air as affected by radiant energies (photocatalytic ionization processes for remediation of indoor environments). *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(3), 329-342.
- Davidson, J. H. et McKinney, P. J. (1998). Chemical Vapor Deposition in the Corona Discharge of Electrostatic Air Cleaners. *Aerosol Science and Technology*, 29(2), 102-110.
- Day, D. B., Xiang, J., Mo, J., Clyde, M. A., Weschler, C. J., Li, F., ... Zhang, J. J. (2018). Combined use of an electrostatic precipitator and a HEPA filter in building ventilation systems: Effects on cardiorespiratory health indicators in healthy adults. *Indoor Air*, 28(3), 360-372.
- Del Curto, B., Tarsini, P. et Cigada, A. (2016). Development of a photocatalytic filter to control indoor air quality. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 14(4), e496-e501.
- Destailats, H., Sleiman, M., Sullivan, D. P., Jacquiod, C., Sablayrolles, J. et Molins, L. (2012). Key parameters influencing the performance of photocatalytic oxidation (PCO) air purification under realistic indoor conditions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 128, 159-170.
- Du, L., Batterman, S., Parker, E., Godwin, C., Chin, J.-Y., O'Toole, A., ... Lewis, T. (2011). Particle Concentrations and Effectiveness of Free-Standing Air Filters in Bedrooms of Children with Asthma in Detroit, Michigan. *Building and environment*, 46(11), 2303-2313.
- Escombe, A. R., Moore, D. A. J., Gilman, R. H., Navincopa, M., Ticona, E., Mitchell, B., ... Evans, C. A. (2009). Upper-Room Ultraviolet Light and Negative Air Ionization to Prevent Tuberculosis Transmission. *PLOS Medicine*, 6(3), e1000043.
- Fan, H.-Y., Li, X.-S., Shi, C., Zhao, D.-Z., Liu, J.-L., Liu, Y.-X. et Zhu, A.-M. (2011). Plasma Catalytic Oxidation of Stored Benzene in a Cycled Storage-Discharge (CSD) Process: Catalysts, Reactors and Operation Conditions. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 31(6), 799-810.
- Farhanian, D. et Haghghat, F. (2014). Photocatalytic oxidation air cleaner: Identification and quantification of by-products. *Building and Environment*, 72, 34-43.
- Farhanian, D., Haghghat, F., Lee, C.-S. et Lakdawala, N. (2013). Impact of design parameters on the performance of ultraviolet photocatalytic oxidation air cleaner. *Building and Environment*, 66, 148-157.
- Ferguson, B. J. (1995). Environmental controls. Part 1: Air cleaners. *Ear, Nose, & Throat Journal*, 74(4), 224-225, 228.
- Fernández-Caldas, E., Trudeau, W. L. et Ledford, D. K. (1994). Environmental control of indoor biologic agents. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 94(2), 404-412.
- Fisk, W. (2013). Health benefits of particle filtration. *Indoor Air*, 23(5), 357-368.
- Fisk, W. et Chan, W. (2017). Health benefits and costs of filtration interventions that reduce indoor exposure to PM<sub>2,5</sub> during wildfires. *Indoor Air*, 27(1), 191-204.

- Fisk, W., Faulkner, D., Palonen, J. et Seppanen, O. (2002). Performance and costs of particle air filtration technologies. *Indoor Air*, 12(4), 223-234.
- Fox, R. W. (1994). Air cleaners: a review. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 94(2 Pt 2), 413-416.
- Gaihre, S., Semple, S., Miller, J., Fielding, S. et Turner, S. (2014). Classroom carbon dioxide concentration, school attendance, and educational attainment. *The Journal of School Health*, 84(9), 569-574.
- Gaunt, L. F., Jerrim, K. L. et Hughes, J. F. (2003). Electrostatic Control of Domestic Dust and Allergen Particles for Improved Air Quality. *Powder Technology*, 135-136, 354-360.
- Gheorghiu, I. L. et Lesage, A. (2015). Les risques sur la santé de l'utilisation de l'ozone dans les environnements intérieurs pour le rabattement des odeurs alimentaires. Institut universitaire en santé mentale de Montréal. Repéré à <http://www.iusmm.ca/documents/pdf/Institut/Publications/UETMIS/Note-info-OZONE-FINAL.pdf>
- Gould, K. L. (1999). Biofiltration could become an effective means of combating poor indoor air quality. *Architectural Record*, 197(10), 214.
- Gouvernement du Canada. (2012). L'ozone dans l'air intérieur. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/rapports-publications/qualite-air/ozone-air-interieur-sante-environnement-milieu-travail.html>
- Gouvernement du Canada. (2016a). Améliorer la qualité de l'air intérieur. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/qualite-air/ameliorer-qualite-air-interieur.html>
- Gouvernement du Canada. (2016b). Principaux contaminants atmosphériques : ozone troposphérique. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/polluants/principaux-contaminants/ozone-tropospherique.html>
- Gouvernement du Canada. (2017). Ozone. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/qualite-air/contaminants-air-interieur/ozone.html>
- Gouvernement du Canada. (2018). La ventilation et le milieu intérieur. Ottawa : Santé Canada. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/ventilation-milieu-interieur.html>
- Gouvernement du Québec. (2019). Prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé. Repéré à <https://www.quebec.ca/sante/conseils-et-prevention/sante-et-environnement/prevenir-les-effets-de-la-pollution-de-l-air-sur-la-sante/>
- Green, R., Simpson, A., Custovic, A., Faragher, B., Chapman, M. et Woodcock, A. (1999). The effect of air filtration on airborne dog allergen. *Allergy*, 54(5), 484-488.
- Guiyusse, B., Hort, C., Platel, V., Munoz, R., Ondarts, M. et Revah, S. (2008). Biological treatment of indoor air for VOC removal: potential and challenges. *Biotechnology Advances*, 26(5), 398-410.
- Gunschera, J., Markewitz, D., Bansen, B., Salthammer, T. et Ding, H. (2016). Portable photocatalytic air cleaners: efficiencies and by-product generation. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(8), 7482-7493.

- Gunschera, J., Markewitz, D., Koberski, U. et Salthammer, T. (2013). Catalyzed Reactions on Mineral Plaster Materials Used for Indoor Air Purification. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 41(5), 437-446.
- Hacker, D. W. et Sparrow, E. M. (2005). Use of air-cleaning devices to create airborne particle-free spaces intended to alleviate allergic rhinitis and asthma during sleep. *Indoor Air*, 15(6), 420-431.
- Hart, J. F., Ward, T. J., Spear, T. M., Rossi, R. J., Holland, N. N. et Loushin, B. G. (2011). Evaluating the Effectiveness of a Commercial Portable Air Purifier in Homes with Wood Burning Stoves: A Preliminary Study. *Journal of Environmental and Public Health*.
- Hassen-Khodja, R. et Dussault, F. P. (2007). Les purificateurs d'air portables en milieu hospitalier : État de la question. Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal. Repéré à <http://www.hscm.ca/fileadmin/contenu/pdf/PURIFICATEURS%20D'AIR.pdf>
- Henderson, D. E., Milford, J. B. et Miller, S. L. (2005). Prescribed burns and wildfires in Colorado: impacts of mitigation measures on indoor air particulate matter. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 55(10), 1516-1526.
- Heudorf, U., Neitzert, V. et Spark, J. (2009). Particulate matter and carbon dioxide in classrooms – The impact of cleaning and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 212(1), 45-55.
- Hindy, K. T. et Awad, A. H. A. (2000). An initial control of indoor air biocontamination. *Environmental Management & Health*, 11(2), 133.
- Hodgson, A. T., Destailats, H., Sullivan, D. P. et Fisk, W. J. (2007). Performance of ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor air cleaning applications. *Indoor Air*, 17(4), 305-316.
- Hoffman, M. (2004). Choosing the Right Technology for Clean Indoor Air. *Occupational Hazards*. Repéré à <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=13575051&lang=fr&site=ehost-live>
- Holzer, F., Roland, U. et Kopinke, F.-D. (2002). Combination of non-thermal plasma and heterogeneous catalysis for oxidation of volatile organic compounds: Part 1. Accessibility of the intra-particle volume. *Applied Catalysis B: Environmental*, 38(3), 163-181.
- Hood, E. (2005). Allergies: Ionizing Air Cleaners Zapped. *Environmental Health Perspectives*, 113(7), A450.
- Hort, C., Platel, V., Sochard, S., Munoz, L. A. T., Ondarts, M., Reguer, A., ... Elias, A. (2014). A hybrid biological process of indoor air treatment for toluene removal. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 64(12), 1403-1409.
- Hospodsky, D., Qian, J., Nazaroff, W. W., Yamamoto, N., Bibby, K., Rismani-Yazdi, H. et Peccia, J. (2012). Human Occupancy as a Source of Indoor Airborne Bacteria. *PLOS ONE*, 7(4).
- Howard-Reed, C., Wallace, L. A. et Emmerich, S. J. (2003). Effect of ventilation systems and air filters on decay rates of particles produced by indoor sources in an occupied townhouse. *Atmospheric Environment*, 37(38), 5295-5306.
- Huang, S.-H. et Chen, C.-C. (2002). Ultrafine aerosol penetration through electrostatic precipitators. *Environmental Science & Technology*, 36(21), 4625-4632.

- Huang, Y., Ho, S. S. H., Lu, Y., Niu, R., Xu, L., Cao, J. et Lee, S. (2016). Removal of Indoor Volatile Organic Compounds via Photocatalytic Oxidation: A Short Review and Prospect. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 21(1), 56.
- Hubbard, H. F., Coleman, B. K., Sarwar, G. et Corsi, R. L. (2005). Effects of an ozone-generating air purifier on indoor secondary particles in three residential dwellings. *Indoor Air*, 15(6), 432-444.
- Jo, W.-K. et Kim, J.-T. (2009). Application of visible-light photocatalysis with nitrogen-doped or unmodified titanium dioxide for control of indoor-level volatile organic compounds. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), 360-366.
- Jo, W.-K. et Park, K.-H. (2004). Heterogeneous photocatalysis of aromatic and chlorinated volatile organic compounds (VOCs) for non-occupational indoor air application. *Chemosphere*, 57(7), 555-565.
- Jo, W.-K., Jung-Hoon, P., Hee-Dong, C. (2012). Photocatalytic destruction of VOCs for in-vehicle air cleaning. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 148(1-3), 109-119. Repéré à <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1010603002000801>
- Joffe, M. A. (1996). Chemical filtration of indoor air: An application primer. *ASHRAE Journal*, 38(2). Repéré à <https://www.osti.gov/biblio/509311>
- Kartheuser, B., Costarramone, N., Pigot, T. et Lacombe, S. (2012). NORMACAT project: normalized closed chamber tests for evaluation of photocatalytic VOC treatment in indoor air and formaldehyde determination. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(9), 3763-3771.
- Kim, K.-H., Szulejko, J. E., Kumar, P., Kwon, E. E., Adelodun, A. A. et Reddy, P. A. K. (2017). Air ionization as a control technology for off-gas emissions of volatile organic compounds. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 225, 729-743.
- Kolarik, J. et Wargocki, P. (2010). Can a photocatalytic air purifier be used to improve the perceived air quality indoors? *Indoor Air*, 20(3), 255-262.
- Kowalski, W. (2000). UVGI Design Basics for Air and Surface Disinfection.
- Kowalski, W. et Bahnfleth, W. (1998). Airborne respiratory diseases and mechanical systems for control of microbes. *HPAC Heating, Piping, Air Conditioning*, 70(7). Repéré à <https://pennstate.pure.elsevier.com/en/publications/airborne-respiratory-diseases-and-mechanical-systems-for-control->
- Kudra, D. T. (1997). FILTERS AND FILTRATION HANDBOOK 4th Edition (1997) By T. Christopher Dickenson Publisher: Elsevier Advanced Technology The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, U.K. *Drying Technology*, 17(1-2), 363-364.
- Kujundzic, E., Matalkah, F., Howard, C. J., Hernandez, M. et Miller, S. L. (2006). UV air cleaners and upper-room air ultraviolet germicidal irradiation for controlling airborne bacteria and fungal spores. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3(10), 536-546.
- Kusek, K. (2005). Breathing Easier. *Prevention*, 57(11), 133-135.
- Lajoie, P., Leclerc, J.-M. et Schnebelen, M. (2006). La ventilation des bâtiments d'habitation : impacts sur la santé respiratoire des occupants. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/490-VentilationBatimentsHabitation.pdf>

- Lanphear, B. P., Hornung, R. W., Khoury, J., Yolton, K., Lierl, M. et Kalkbrenner, A. (2011). Effects of HEPA Air Cleaners on Unscheduled Asthma Visits and Asthma Symptoms for Children Exposed to Secondhand Tobacco Smoke. *Pediatrics*, 127(1), 93-101.
- Lee, B. U., Yermakov, M. et Grinshpun, S. A. (2004). Removal of fine and ultrafine particles from indoor air environments by the unipolar ion emission. *Atmospheric Environment*, 38(29), 4815-4823.
- Lei, Z., Liu, C., Wang, L. et Li, N. (2017). Effect of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort in dormitory during winter. *Building and Environment*, 125, 240-247.
- Levasseur, M.-E. et Leclerc, J.-M. (2017). Qualité de l'air et salubrité : Intervenir ensemble dans l'habitation au Québec – Outil d'aide à l'intervention. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/livres/qualite-air-salubrite/qualite-air-salubrite-habitation-quebec-aide-intervention.pdf>
- Levasseur, M.-E., Poulin, P., Campagna, C. et Leclerc, J.-M. (2017). Integrated Management of Residential Indoor Air Quality: A Call for Stakeholders in a Changing Climate. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1455.
- Lorimier, C., Le Coq, L., Subrenat, A. et Le Cloirec, P. (2008). Indoor Air Particulate Filtration onto Activated Carbon Fiber Media. *Journal of Environmental Engineering*, 134(2), 126-137.
- Lorimier, C., Subrenat, A., Le Coq, L. et Le Cloirec, P. (2005). Adsorption of toluene onto activated carbon fibre cloths and felts: application to indoor air treatment. *Environmental Technology*, 26(11), 1217-1230.
- Luengas, A. T., Hort, C., Platel, V., Elias, A., Barona, A. et Moynault, L. (2017). Removal of traces of toluene and p-xylene in indoor air using biofiltration and a hybrid system (biofiltration + adsorption). *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10674-10684.
- Luengas, A., Barona, A., Hort, C., Gallastegui, G., Platel, V. et Elias, A. (2015). A review of indoor air treatment technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(3), 499-522.
- Macher, J. M., Alevantis, L. E., Chang, Y.-L. et Liu, K.-S. (1992). Effect of Ultraviolet Germicidal Lamps on Airborne Microorganisms in an Outpatient Waiting Room. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 7(8), 505-513.
- MacIntosh, D. L., Myatt, T. A., Ludwig, J. F., Baker, B. J., Suh, H. H. et Spengler, J. D. (2008). Whole House Particle Removal and Clean Air Delivery Rates for In-Duct and Portable Ventilation Systems. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(11), 1474-1482.
- Mamaghani, A. H., Haghghat, F. et Lee, C.-S. (2017). Photocatalytic oxidation technology for indoor environment air purification: The state-of-the-art. *Applied Catalysis B: Environmental*, 203, 247-269.
- Medical Advisory Secretariat. (2005). Air Cleaning Technologies. *Ontario Health Technology Assessment Series*, 5(17), 1-52.
- Memarzadeh, F., Olmsted, R. N. et Bartley, J. M. (2010). Applications of ultraviolet germicidal irradiation disinfection in health care facilities: effective adjunct, but not stand-alone technology. *American Journal of Infection Control*, 38(5 Suppl 1), S13-24.
- Miller, S. L., Linnes, J. et Luongo, J. (2013). Ultraviolet germicidal irradiation: future directions for air disinfection and building applications. *Photochemistry and Photobiology*, 89(4), 777-781.

- Miller, S. L., Lobascio, C., Nazaroff, W. W. et Macher, J. M. (1996). Effectiveness of in-room air filtration and dilution ventilation for tuberculosis infection control. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 46(9), 869-882.
- Mo, J., Zhang, Y., Xu, Q., Lamson, J. J. et Zhao, R. (2009a). Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: A literature review. *Atmospheric Environment*, 43(14), 2229-2246.
- Mo, J., Zhang, Y., Xu, Q., Zhu, Y., Lamson, J. J. et Zhao, R. (2009b). Determination and risk assessment of by-products resulting from photocatalytic oxidation of toluene. *Applied Catalysis B: Environmental*, 89(3), 570-576.
- Mølgaard, B., Koivisto, A. J., Hussein, T. et Hämeri, K. (2014). A New Clean Air Delivery Rate Test Applied to Five Portable Indoor Air Cleaners. *Aerosol Science & Technology*, 48(4), 409-417.
- Nardell, E., Vincent, R. et Sliney, D. H. (2013). Upper-room ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) for air disinfection: a symposium in print. *Photochemistry and Photobiology*, 89(4), 764-769.
- Nelson, H. S., Hirsch, S. R., Ohman, J. L., Platts-Mills, T. A., Reed, C. E. et Solomon, W. R. (1988). Recommendations for the use of residential air-cleaning devices in the treatment of allergic respiratory diseases. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 82(4), 661-669.
- Noh, K.-C. et Hwang, J. (2010). The effect of ventilation rate and filter performance on indoor particle concentration and fan power consumption in a residential housing unit. *Indoor and Built Environment*, 444-452.
- Observatoire de la qualité de l'air intérieur. (2012). L'épuration par photocatalyse : Opportunité ou menace pour la qualité de l'air intérieur. Repéré à [http://www.oqai.fr/userdata/documents/403\\_Bulletin\\_OQAI\\_n4\\_Photocatalyse.pdf](http://www.oqai.fr/userdata/documents/403_Bulletin_OQAI_n4_Photocatalyse.pdf)
- Observatoire sur la qualité de l'air intérieur QAI (2018) Pollution intérieure Repéré à <http://www.oqai.fr/ObsAirInt.aspx?idarchitecture=182>
- Offermann, F. J., Sextro, R. G., Fisk, W. J., Grimsrud, D. T., Nazaroff, W. W., Nero, A. V., ... Yater, J. (1985). Control of respirable particles in indoor air with portable air cleaners. *Atmospheric Environment* (1967), 19(11), 1761-1771.
- Ondarts, M., Hort, C., Sochard, S., Platel, V., Moynault, L. et Seby, F. (2012). Evaluation of compost and a mixture of compost and activated carbon as biofilter media for the treatment of indoor air pollution. *Environmental Technology*, 33(1-3), 273-284.
- Organisation mondiale de la Santé. (2005). Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre : Synthèse de l'évaluation des risques. Repéré à [https://www.who.int/publications/list/who\\_sde\\_phe\\_oeh\\_06\\_02/fr/](https://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oeh_06_02/fr/)
- Organisation mondiale de la Santé. (2018). Pollution de l'air à l'intérieur des habitations et la santé. Repéré à <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Park, H.-K., Cheng, K.-C., Tetteh, A. O., Hildemann, L. M. et Nadeau, K. C. (2017). Effectiveness of air purifier on health outcomes and indoor particles in homes of children with allergic diseases in Fresno, California: A pilot study. *Journal of Asthma*, 54(4), 341-346.

- Park, J. H., Byeon, J. H., Yoon, K. Y. et Hwang, J. (2008). Lab-scale test of a ventilation system including a dielectric barrier discharger and UV-photocatalyst filters for simultaneous removal of gaseous and particulate contaminants. *Indoor Air*, 18(1), 44-50.
- Paschoalino, M. P. et Jardim, W. F. (2008). Indoor air disinfection using a polyester supported TiO<sub>2</sub> photo-reactor. *Indoor Air*, 18(6), 473-479.
- Peccia, J., Werth, H. M., Miller, S. et Hernandez, M. (2001). Effects of Relative Humidity on the Ultraviolet Induced Inactivation of Airborne Bacteria. *Aerosol Science and Technology*, 35(3), 728-740.
- Perez, V., Alexander, D. D. et Bailey, W. H. (2013). Air ions and mood outcomes: a review and meta-analysis. *BMC Psychiatry*, 13, 29.
- Pham, T.-D. et Lee, B.-K. (2014). Feasibility of silver doped TiO<sub>2</sub>/glass fiber photocatalyst under visible irradiation as an indoor air germicide. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(3), 3271-3288.
- Pierpaoli, M., Giosuè, C., Ruello, M. L. et Fava, G. (2017). Appraisal of a hybrid air cleaning process. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(14), 12638-12645.
- Qi, S., Hay, K. J. et Cal, M. P. (2000). Predicting humidity effect on adsorption capacity of activated carbon for water-immiscible organic vapors. *Advances in Environmental Research*, 4(4), 357-362.
- Rim, D., Poppendieck, D., Wallace, L. et Persily, A. (2013). Effectiveness of an In-Duct Electrostatic Precipitator in Nanoparticle Removal with Consideration of Ozone Emissions. Repéré à [https://ws680.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=914097](https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=914097)
- Roland, U., Holzer, F. et Kopinke, F.-D. (2002). Improved oxidation of air pollutants in a non-thermal plasma. *Catalysis Today*, 73(3), 315-323.
- Rudnick, S. N. (2004). Optimizing the Design of Room Air Filters for the Removal of Submicrometer Particles. *Aerosol Science & Technology*, 38(9), 861-869.
- Rutala, W. A., Jones, S. M., Worthington, J. M., Reist, P. C. et Weber, D. J. (1995). Efficacy of portable filtration units in reducing aerosolized particles in the size range of Mycobacterium tuberculosis. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 16(7), 391-398.
- Samet, J. M., Marbury, M. C. et Spengler, J. D. (1987). Health effects and sources of indoor air pollution. Part I. *The American Review of Respiratory Disease*, 136(6), 1486-1508.
- Sánchez, B., Sánchez-Muñoz, M., Muñoz-Vicente, M., Cobas, G., Portela, R., Suárez, S., ... Amils, R. (2012). Photocatalytic elimination of indoor air biological and chemical pollution in realistic conditions. *Chemosphere*, 87(6), 625-630.
- Scheepers, P. T. J., Cremers, R., Hout, S. P. R. van et Anzion, R. B. M. (2012). Influence of a portable air treatment unit on health-related quality indicators of indoor air in a classroom. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(2), 429-439.
- Schmid, S., Jecklin, M. C. et Zenobi, R. (2010). Degradation of volatile organic compounds in a non-thermal plasma air purifier. *Chemosphere*, 79(2), 124-130.
- Seppänen, O. A. et W. J. Fisk. (2004). Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air*, 14(s7), 102-118.

- Sharmin, R. et Ray, M. B. (2012). Application of ultraviolet light-emitting diode photocatalysis to remove volatile organic compounds from indoor air. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(9), 1032-1039.
- Shaughnessy, R. J. et Sextro, R. G. (2006). What Is an Effective Portable Air Cleaning Device? A Review. *Journal of Occupational & Environmental Hygiene*, 3(4), 169-181.
- Sherman, M. H. et Matson, N. E. (2003). Reducing Indoor Residential Exposures to Outdoor Pollutants. Repéré à [https://www.researchgate.net/publication/255624154\\_Reducing\\_indoor\\_residential\\_exposures\\_to\\_outdoor\\_pollutants](https://www.researchgate.net/publication/255624154_Reducing_indoor_residential_exposures_to_outdoor_pollutants)
- Siegel, J. A. (2016). Primary and secondary consequences of indoor air cleaners. *Indoor Air*, 26(1), 88-96.
- Sleiman, M., Conchon, P., Ferronato, C. et Chovelon, J.-M. (2009). Photocatalytic oxidation of toluene at indoor air levels (ppbv): Towards a better assessment of conversion, reaction intermediates and mineralization. *Applied Catalysis B: Environmental*, 86(3/4), 159-165.
- Sublett, J. L. (2011). Effectiveness of Air Filters and Air Cleaners in Allergic Respiratory Diseases: A Review of the Recent Literature. *Current Allergy and Asthma Reports*, 11(5), 395.
- Sultan, Z. M., Magee, R. J. et Nilsson, G. (2011). IAQ solutions and technologies: review and selection for protocol development. Repéré à <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=62f6a2d4-f1c8-47eb-9780-b184957e8805>
- Talbot, E. A., Jensen, P., Moffat, H. J. et Wells, C. D. (2002). Occupational risk from ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) lamps. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease: The Official Journal of the International Union Against Tuberculosis and Lung Disease*, 6(8), 738-741.
- Tsai, C.-W., Chang, C.-T., Chiou, C.-S., Shie, J.-L. et Chang, Y.-M. (2008). Study on the indoor volatile organic compound treatment and performance assessment with TiO<sub>2</sub>/MCM-41 and TiO<sub>2</sub>/quartz photoreactor under ultraviolet irradiation. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 58(10), 1266-1273.
- United States Environmental Protection Agency. (2007). Review of the National Ambient Air Quality Standards for Ozone: Policy Assessment of Scientific and Technical Information. Repéré à [https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/data/2007\\_07\\_ozone\\_staff\\_paper.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/data/2007_07_ozone_staff_paper.pdf)
- United States Environmental Protection Agency. (2008). Guide to Air Cleaners in the Home. Repéré à <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-07/documents/aircleaners.pdf>
- United States Environmental Protection Agency. (2009). Residential Air Cleaners (Second Edition): A Summary of Available Information. U.S. EPA. Overviews and Factsheets. Repéré à [https://19january2017snapshot.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/residential-air-cleaners-second-edition-summary-available-information\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/residential-air-cleaners-second-edition-summary-available-information_.html)
- United States Environmental Protection Agency. (2014a). Air Cleaners and Air Filters in the Home. U.S. EPA. Overviews and Factsheets. Repéré à <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/air-cleaners-and-air-filters-home>
- United States Environmental Protection Agency. (2014b). Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners. U.S. EPA. Overviews and Factsheets. Repéré à <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/ozone-generators-are-sold-air-cleaners>

- Van Durme, J., Dewulf, J., Demeestere, K., Leys, C. et Van Langenhove, H. (2009). Post-plasma catalytic technology for the removal of toluene from indoor air: Effect of humidity. *Applied Catalysis B: Environmental*, 87(1/2), 78-83.
- Van Durme, J., Dewulf, J., Sysmans, W., Leys, C. et Van Langenhove, H. (2007). Abatement and degradation pathways of toluene in indoor air by positive corona discharge. *Chemosphere*, 68(10), 1821-1829.
- Vandenbroucke, A. M., Morent, R., De Geyter, N. et Leys, C. (2011). Non-thermal plasmas for non-catalytic and catalytic VOC abatement. *Journal of Hazardous Materials*, 195, 30-54.
- Varner, K. E., Rindfusz, K., Gaglione, A., Viveiros, E. (2010). Nano Titanium Dioxide Environmental Matters: State of the Science Literature Review. Washington: United States Environmental Protection Agency. Repéré à [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?dirEntryId=227225&fed\\_org\\_id=770&SIType=PR&TIMSType=Published+Report&showCriteria=0&address=nerl/pubs.html&view=citation&sortBy=pubDateYear&count=100&dateBeginPublishedPresented=01/01/2010](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=227225&fed_org_id=770&SIType=PR&TIMSType=Published+Report&showCriteria=0&address=nerl/pubs.html&view=citation&sortBy=pubDateYear&count=100&dateBeginPublishedPresented=01/01/2010)
- Wallace, L. (2008). Effectiveness of Home Air Cleaners in Reducing Indoor Levels of Particles.
- Wallace, L. A., Emmerich, S. J. et Howard-Reed, C. (2004). Effect of central fans and in-duct filters on deposition rates of ultrafine and fine particles in an occupied townhouse. *Atmospheric Environment*, 38(3), 405-413.
- Wallner, P., Kundi, M., Panny, M., Tappler, P. et Hutter, H.-P. (2015). Exposure to Air Ions in Indoor Environments: Experimental Study with Healthy Adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(11), 14301-14311.
- Wan, Y., Fan, X. et Zhu, T. (2011). Removal of low-concentration formaldehyde in air by DC corona discharge plasma. *Chemical Engineering Journal*. Repéré à <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201500104050>
- Wang, S., Ang, H. M. et Tade, M. O. (2007). Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art. *Environment International*, 33(5), 694-705.
- Weschler, C. J. et Nazaroff, W. W. (2012). SVOC exposure indoors: fresh look at dermal pathways. *Indoor Air*, 22(5), 356-377.
- Wheeler, A. J., Gibson, M. D., MacNeill, M., Ward, T. J., Wallace, L. A., Kuchta, J., ... Stieb, D. M. (2014). Impacts of Air Cleaners on Indoor Air Quality in Residences Impacted by Wood Smoke. *Environmental Science & Technology*, 48(20), 12157-12163.
- Wood, R. A. (2002). Air filtration devices in the control of indoor allergens. *Current Allergy and Asthma Reports*, 2(5), 397-400.
- Wu, C. C. et Lee, G. W. M. (2004). Oxidation of volatile organic compounds by negative air ions. *Atmospheric Environment*, 38(37), 6287-6295.
- Xu, Y., Raja, S., Ferro, A. R., Jaques, P. A., Hopke, P. K., Gressani, C. et Wetzel, L. E. (2010). Effectiveness of heating, ventilation and air conditioning system with HEPA filter unit on indoor air quality and asthmatic children's health. *Building and Environment*, 45(2), 330-337.
- Yang, R., Zhang, Y.-P. et Zhao, R.-Y. (2004). An improved model for analyzing the performance of photocatalytic oxidation reactors in removing volatile organic compounds and its application. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 54(12), 1516-1524.

- Yao, M., Zhang, Q., Hand, D. W., Perram, D. L. et Taylor, R. (2009). Investigation of the treatability of the primary indoor volatile organic compounds on activated carbon fiber cloths at typical indoor concentrations. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 59(7), 882-890.
- Yu, B. F., Hu, Z. B., Liu, M., Yang, H. L., Kong, Q. X. et Liu, Y. H. (2009). Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. *International Journal of Refrigeration*, 32(1), 3-20.
- Yu, C. W. F. et Kim, J. T. (2013). Photocatalytic Oxidation for Maintenance of Indoor Environmental Quality. *Indoor and Built Environment*, 22(1), 39-51.
- Yu, K.-P., Lee, G. W. et Huang, G.-H. (2010). The effect of ozone on the removal effectiveness of photocatalysis on indoor gaseous biogenic volatile organic compounds. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 60(7), 820-829.
- Yu, K.-P., Lee, G. W.-M., Huang, W.-M., Wu, C.-C., Lou, C. et Yang, S. (2006). Effectiveness of photocatalytic filter for removing volatile organic compounds in the heating, ventilation, and air conditioning system. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(5), 666-674.
- Zhang, Y., Mo, J., Li, Y., Sundell, J., Wargocki, P., Zhang, J. et Sun, Y. (2011). Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review. *Atmospheric Environment*, 45(26), 4329-4343.
- Zhang, Y., Yang, R. et Zhao, R. (2003). A model for analyzing the performance of photocatalytic air cleaner in removing volatile organic compounds. *Atmospheric Environment*, 37(24), 3395-3399.
- Zhang, Y., Yang, R., Xu, Q. et Mo, J. (2007). Characteristics of Photocatalytic Oxidation of Toluene, Benzene, and Their Mixture. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(1), 94-101.
- Zhao, J. et Yang, X. (2003). Photocatalytic oxidation for indoor air purification: a literature review. *Building and Environment*, 38(5), 645-654.
- Zhong, L. et Haghghat, F. (2015). Photocatalytic air cleaners and materials technologies – Abilities and limitations. *Building and Environment*, 91, 191-203.
- Zhong, L., Haghghat, F., Blondeau, P. et Kozinski, J. (2010). Modeling and physical interpretation of photocatalytic oxidation efficiency in indoor air applications. *Building and Environment*, 45(12), 2689-2697.
- Zhong, L., Haghghat, F., Lee, C.-S. et Lakdawala, N. (2013). Performance of ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor air applications: Systematic experimental evaluation. *Journal of Hazardous Materials*, 261, 130-138.



## **Annexe 1**

### **Bordereau de recherche**



## Stratégie pour Ovid (Medline)

Concept	#	Requête
<b>Intérieur (VL)</b>	1	(residen* or interior or in-house or house* or domestic or home or habitant or inhabitant* or dwelling*).ti,ab.
<b>Dispositif de filtration/purification (VC + VL)</b>	2	"air filters"/ or filtration/ or "air ionization"/or "nebulizers and vaporizers"/ or catalysis/ or (epuration* or purifi* or pco or ultraviolet or photocatalytic or ozonation or ozonat* or "air cleaner*" or "air cleaning" or adsorption or biofiltration or "thermal catalysis" or "activated carbon").ti,ab.
<b>Air/polluants (VC + VL)</b>	3	"air pollution"/or "environmental pollutants"/ or ((air or environment*) adj2 (quality or pollut*)).ti,ab.
<b>Air intérieur (VC)</b>	4	air pollution, indoor/
	5	((1 and 3) or 4) and 2
<b>Sinistre</b>	6	floods/ or fires/ or (sinister or disaster or fire* or flood*).ti,ab.
<b>Total</b>	7	((1 and (3 or 6)) or 4) and 2

## Stratégie pour EBSCO (Environment Complete)

Concept	#	Requête
<b>Intérieur (VL)</b>	S1	TI (residen* or interior* or indoor or in-house or house* or domestic or home or habitant* or inhabitant* or dwelling*) or AB (residen* or interior* or indoor or in-house or house* or domestic or home or habitant* or inhabitant* or dwelling*)
<b>Air/polluants (VC)</b>	S2	SU ("air pollutants" or "air quality")
<b>Air/polluants (VL)</b>	S3	TI (air or dust* or odo#r* or fume\$1) or AB (air or dust* or odo#r* or fume\$1)
<b>Air intérieur (VC)</b>	S4	SU ("indoor air quality" or "indoor air pollution")
<b>Dispositif de filtration/purification (VC)</b>	S5	SU ("pollution control equipment" or "aerosols (sprays)" or "atmospheric ionization" or "plasma arc gasification" or catalysis or "air filters" or "air purification" or "filters and filtration")
<b>Dispositif de filtration/purification (VL)</b>	S6	TI (filter\$1 or filtrat* or nebulizer* or vaporizer* or epurat* or purif* or clean* or ionization* or pco or ultraviolet or UV or photocatalytic or ozonation or ozonat* or adsorption or biofiltration or "thermal catalysis" or "activated carbon") or AB (filter\$1 or filtrat* or nebulizer* or vaporizer* or epurat* or purif* or clean* or ionization* or pco or ultraviolet or UV or photocatalytic or ozonation or ozonat* or adsorption or biofiltration or "thermal catalysis" or "activated carbon")
<b>VC</b>	S7	S4 AND S5
<b>VL</b>	S8	(S1 N6 S3) N10 S6
<b>VC + VL</b>	S9	S7 OR S8

VL : Vocabulaire libre

VC : Vocabulaire contrôlé



## **Annexe 2**

### **Synthèse des études portant sur l'utilisation de système de filtration pour le maintien de la QAI**



**Synthèse des études portant sur l'utilisation de système de filtration pour le maintien de la QAI**

Études	Contaminants étudiés	Filtres et systèmes testés	Rendement et bénéfices
Rutala <i>et al.</i> , 1995	Bactérie	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation PM de 90 % entre 5 et 31 minutes (dépendamment du système portable utilisé)</li> </ul>
Miller <i>et al.</i> , 1996	Bactérie	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des bioaérosols entre 30 et 90 %</li> </ul>
Cheng, Lu et Chen, 1998	Spores fongiques	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations de 80 % en 24 h.</li> </ul>
Green <i>et al.</i> , 1999	Allergènes canins	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations de 90 % en 24 h.</li> </ul>
Fisk <i>et al.</i> , 2002	Allergène	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations d'allergène de chat et de mite entre 20-60 %</li> </ul>
Wood, 2002	Allergènes félines	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations de 70 à 98 %.</li> </ul>
Batterman, Godwin et Jia, 2005	Fumée de combustion	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations de 30-70 % en 2 mois.</li> </ul>
Barn <i>et al.</i> , 2008	PM <sub>2,5</sub> (incendies de forêt)	HEPA, système portatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation de 55 % à 65 % des PM<sub>2,5</sub> de source extérieure.</li> </ul>
Bräuner <i>et al.</i> , 2008	PM <sub>2,5</sub> (circulation routière)	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations de ~40 % en 24 h.</li> </ul>
MacIntosh <i>et al.</i> , 2008	PM <sub>2,5</sub>	HEPA; système de ventilation centralisé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction des PM<sub>2,5</sub> d'origine intérieure et extérieure de façon significative.</li> </ul>
Noh et Hwang, 2010	PM <sub>10</sub>	MERV 11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recommandation de l'utilisation de filtres MERV 11 (ou plus performants) pour atténuer les PM<sub>10</sub> de source extérieure.</li> </ul>
Xu <i>et al.</i> , 2010	PM	HEPA, système portatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction des concentrations moyennes des PM (72 %) et des COV (59 %);</li> <li>Réduction des symptômes chez les personnes asthmatiques.</li> </ul>
Allen <i>et al.</i> , 2011	PM <sub>2,5</sub> (fumée de combustion du bois)	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations de ~60 % en 7 jours.</li> <li>Amélioration de la fonction endothéliale.</li> </ul>
Butz <i>et al.</i> , 2011	PM <sub>2,5</sub> et nicotine	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des PM<sub>2,5</sub> de 20 % dans des résidences abritant des fumeurs.</li> <li>Réduction de 14-18 % des jours sans symptôme chez les enfants asthmatiques.</li> </ul>
Du <i>et al.</i> , 2011	PM <sub>tot</sub>	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des PM<sub>tot</sub> de 68 à 80 %.</li> </ul>
Lanphear <i>et al.</i> , 2011	PM <0,3 µm	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des PM de 25 % dans des résidences abritant des fumeurs.</li> <li>Réduction significative des visites non planifiées à l'hôpital.</li> <li>Pas de réduction significative des symptômes chez les enfants.</li> </ul>
Hospodsky <i>et al.</i> , 2012	PM <sub>10</sub> (squames et bactéries)	HEPA, système portable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction des concentrations de PM<sub>10</sub> de source humaine et des bactéries associées.</li> </ul>

Études	Contaminants étudiés	Filtres et systèmes testés	Rendement et bénéfices
Scheepers <i>et al.</i> , 2012	PM <sub>2,5</sub> et PM <sub>10</sub>	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations des PM<sub>10</sub> (70-87 %) et des PM<sub>2,5</sub> (80-89 %) des milieux inoccupés. L'occupation des milieux intérieurs engendre une importante diminution de l'efficacité de ces systèmes.</li> </ul>
ASHRAE, 2013	PM	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation de 70-75 % des PM entre 2,5 et 6 µm et entre 35-45 % des PM entre 0,1 et 0,3 µm.</li> </ul>
Brown <i>et al.</i> , 2014	Particules allergènes	MERV 12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction des déclencheurs de l'asthme de plus de 50 %.</li> </ul>
Wheeler <i>et al.</i> , 2014	PM <sub>2,5</sub> (fumée de combustion du bois)	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations médianes de ~52 % en 48 h.</li> </ul>
Chen <i>et al.</i> , 2015	PM <sub>2,5</sub>	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations de ~57 % en 1 h.</li> <li>Amélioration significative de la QAI et de la santé cardiovasculaire des participants.</li> </ul>
Fisk et Chan, 2017	PM <sub>2,5</sub> (incendie de forêt)	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction attendue entre 11 et 63 % des hospitalisations et entre 7 et 39 % des décès attribuables aux feux de forêt?</li> </ul>
Park <i>et al.</i> , 2017	PM <sub>2,5</sub>	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations moyennes de 43 % au cours des 12 semaines de l'étude.</li> <li>Réduction des symptômes chez les personnes asthmatiques.</li> </ul>
Barn <i>et al.</i> , 2018	PM <sub>2,5</sub> et fumée de tabac	HEPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atténuation des concentrations moyennes de particules fines de 29 % et des concentrations de cadmium sanguin de 14 %.</li> </ul>

## **Annexe 3**

### **Synthèse des études portant sur les déterminants affectant la performance des systèmes d'oxydation photocatalytique (OPC)**



## Synthèse des études portant sur les déterminants affectant la performance des systèmes d'oxydation photocatalytique (OPC)

Déterminants	Effets observés	Références
<b>Déterminants internes</b>		
Surface spécifique du catalyseur	Plus la surface est élevée plus la réaction d'oxydation est efficace.	Wang <i>et al.</i> , 2007; Mo <i>et al.</i> , 2009a; Chen <i>et al.</i> , 2015; Zhong <i>et al.</i> , 2013; Huang <i>et al.</i> , 2016; Mamaghani <i>et al.</i> , 2017.
Débit d'air généré par l'appareil	Le débit d'air de l'appareil doit être faible pour favoriser un renouvellement lent et constant des espèces chimiques sur le catalyseur ainsi que leur minéralisation.	Hodgson <i>et al.</i> , 2007; Wang <i>et al.</i> , 2007; Jo et Kim, 2009; Sleiman <i>et al.</i> , 2009; Zhong <i>et al.</i> , 2010; Destailats <i>et al.</i> , 2012; Sharmin et Ray, 2012; Farhanian <i>et al.</i> , 2013; Yu et Kim, 2013; Zhong <i>et al.</i> , 2013; Zhong et Haghghat, 2015; Mamaghani <i>et al.</i> , 2017.
Lampe de photocatalyse	La génération d'onde inférieure 380 nm est nécessaire pour activer le catalyseur de dioxyde de titane (TiO <sub>2</sub> ). Les lampes UV sous vide seraient les plus efficaces (UUV : 10-200 nm).	Wang <i>et al.</i> , 2007; Mo <i>et al.</i> , 2009a; Farhanian et Haghghat, 2014.
Préfiltre	Il est recommandé d'utiliser un média filtrant (HEPA) ou adsorbant (charbon activé) en amont du système de purification afin de prévenir l'encrassement de la lampe ou du catalyseur.	Zhao et Yang, 2003; Mo <i>et al.</i> , 2009a; Zhong et Haghghat, 2015; Mamaghani <i>et al.</i> , 2017.
<b>Déterminants externes</b>		
Taux d'HR	Plus le taux d'HR est bas, plus la réaction de minéralisation des COV est complète en raison de la compétition pour l'accès à un nombre de sites actifs limités. Un excès d'humidité contribue à saturer les sites actifs du catalyseur et peut nuire à la performance du système.	Ao <i>et al.</i> , 2003; Wang <i>et al.</i> , 2007; Zhao et Yang, 2003; Mo <i>et al.</i> , 2009a; Jo et Kim, 2009; Sleiman <i>et al.</i> , 2009; Yu <i>et al.</i> , 2010; Zhong <i>et al.</i> , 2010; Sharmin et Ray, 2012; Farhanian <i>et al.</i> , 2013; Yu et Kim, 2013; Zhong <i>et al.</i> , 2013; Zhong et Haghghat, 2015; Mamaghani <i>et al.</i> , 2017.
Concentration de contaminants	En raison de la contingence des sites actifs, plus la concentration de contaminants de l'air intérieur est élevée plus l'efficacité spécifique du système s'avère faible.	Zhao et Yang, 2003; Wang <i>et al.</i> , 2007; Chen et Zhang, 2008; Tsai <i>et al.</i> , 2008; Mo <i>et al.</i> , 2009a; Sleiman <i>et al.</i> , 2009; Zhong <i>et al.</i> , 2010; Farhanian <i>et al.</i> , 2013; Zhong <i>et al.</i> , 2013; Farhanian et Haghghat, 2014; Mamaghani <i>et al.</i> , 2017.
Diversité de contaminants	Pour des raisons d'affinités avec le catalyseur, les composés hydrophyles sont oxydés voire minéralisés plus aisément que les composés non hydrophiles. La présence de certains composés peut également inhiber ou favoriser la dégradation de certains contaminants (ex. : NO, O <sub>3</sub> ).	Zhang <i>et al.</i> , 2007; Zhang, 2007; Zhong <i>et al.</i> , 2010; Farhanian <i>et al.</i> , 2013; Zhong <i>et al.</i> , 2013; Zhong et Haghghat, 2015; Chen et Zhang, 2008; Mamaghani <i>et al.</i> , 2017.
Production de produits secondaire	L'oxydation incomplète de certains contaminants de l'air intérieur engendre la production de produits secondaires potentiellement nocifs.	Blondeau <i>et al.</i> , 2007; Hodgson <i>et al.</i> , 2007; Mo <i>et al.</i> , 2009a; Zhong <i>et al.</i> , 2010; Kartheuser <i>et al.</i> , 2012; Farhanian <i>et al.</i> , 2013; Yu et Kim, 2013; Farhanian et Haghghat, 2014; Zhong et Haghghat, 2015; Gunschera <i>et al.</i> , 2016; Mamaghani <i>et al.</i> , 2017.



## **Annexe 4**

**Synthèse des études portant sur l'utilisation  
de système de d'oxydation photocatalytique (OPC)  
pour le maintien de la QAI**



Études	Contaminants étudiés	Catalyseur utilisé	Rendement et bénéfices
Tsai <i>et al.</i> , 2008	Toluène	TiO <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> )-UV	Efficacité de conversion du toluène entre 77 et 54 %.
Destailats <i>et al.</i> , 2012	Benzène, toluène, xylène, formaldéhyde, acétaldéhyde	TiO <sub>2</sub> -UV	Efficacité de conversion entre 60 et 70 % des COV étudiés.
Sanchez <i>et al.</i> , 2012	Aspergillus niger et COV	TiO <sub>2</sub> -UV	Atténuation des spores fongiques 78 % après 24 h et 90 % après 36 h, conversion des COV de 80 %.
Hodgson <i>et al.</i> , 2007	COV	TiO <sub>2</sub> -UV	Conversion des COV entre 20-80 %.
Zhong <i>et al.</i> , 2013	Alcool, cétone, aromatique, alcanes	TiO <sub>2</sub> -UV	Conversion des COV jusqu'à 60 % (éthanol).
Jo et Kim, 2009	Éthylbenzène et xylène	TiO <sub>2</sub> (N)-UV	Conversion des COV jusqu'à 90 %.
Ao <i>et al.</i> , 2003	Toluène et benzène	TiO <sub>2</sub> -UV	Conversion des COV jusqu'à 95 %.
Sharmin et Ray, 2012	Toluène et xylène	TiO <sub>2</sub> -UV	Conversion des COV entre 8 et 32 %.
Jo <i>et al.</i> , 2002	Benzène, Xylène, éthyle benzène	TiO <sub>2</sub> -UV	Conversion des COV jusqu'à 100 %.
Paschoalino et Jardim, 2008	Bactéries et spores fongiques	TiO <sub>2</sub> -UV	Atténuation des cellules microbiennes sous la limite de détection après 2 h.
Yu <i>et al.</i> , 2006	Toluène et formaldéhyde	TiO <sub>2</sub> -UV	Conversion des COV entre 34 et 100 %.





services maladies infectieuses  
santé services  
et innovation microbiologie toxicologie prévention des maladies chroniques  
santé au travail innovation santé au travail impact des politiques publiques  
impact des politiques publiques développement des personnes et des communautés  
promotion de saines habitudes de vie recherche services  
santé au travail promotion, prévention et protection de la santé impact des politiques  
sur les déterminants de la santé recherche et innovation services de laboratoire et diagnostic  
recherche surveillance de l'état de santé de la population

[www.inspq.qc.ca](http://www.inspq.qc.ca)