













## 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>







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















## 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).











### 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).











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.



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









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



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









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).



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).





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.







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.









- 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.
- Guieysse, 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.







## 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









## 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>







## 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.













