

The logo for the Canadian Council on Air Quality and Buildings (CCQAIB) features the acronym 'CCQAIB' in a stylized, serif font. The letters are white with a blue outline, set against a background of intricate, swirling blue patterns that resemble smoke or air currents.

Comité canadien sur la qualité
de l'air intérieur et les bâtiments

Guide sur la qualité de l'air Intérieur

Module 9 Qualité de l'air intérieure et efficacité énergétique

2015



Comité canadien sur la qualité de l'air intérieur et les bâtiments (CCQAIB)

Avertissement

Les guides et autres documents produits par le Comité canadien sur la qualité de l'air intérieur et les bâtiments (CCQAIB) sont des compilations de données existantes tirées de nombreuses sources. Si le CCQAIB s'efforce dans toute la mesure du possible de vérifier l'exactitude de ces données, il ne peut pas garantir la pleine exactitude de l'information publiée dans ces documents.

À l'exception des employés des ministères et des organismes du gouvernement du Canada, les membres du Comité sont nommés pour leurs champs d'intérêt personnels et leurs compétences plutôt que comme représentants de groupes ou d'associations spécifiques. Les points de vue exprimés dans les documents sont le reflet du jugement collectif du Comité, et non de celui des membres ou des organisations dont ils sont issus. Les références à d'autres sources et organisations, et les liens vers celles-ci visent à servir de complément d'information. Le CCQAIB n'appuie en aucune façon ces organisations, l'information qu'elles diffusent ou les produits qu'elles recommandent.

La qualité de l'air intérieur est une question très complexe, et il existe actuellement un écart important entre la connaissance des effets de la qualité de l'air intérieur sur la santé des occupants, et l'efficacité de diverses technologies et solutions en matière de qualité de l'air intérieur. Les utilisateurs sont invités à faire preuve de discernement.

Préambule

Le CCQAIB a pour objectif ultime d'améliorer la qualité de l'air pour tous les Canadiens dans tous les types de bâtiments. Le CCQAIB a décidé de se concentrer d'abord sur les bâtiments que les Canadiens fréquentent hors de leur domicile pour travailler, apprendre, faire des courses, se divertir, etc. Dans l'ensemble, ces bâtiments sont desservis par des équipements de chauffage, ventilation et conditionnement d'air centraux relativement complexes exploités et gérés par des personnes averties. Le tableau ci-dessous donne des exemples de tels bâtiments selon la classification du Code national du bâtiment du Canada (CNB). Les documents publiés par le CCQAIB sont rédigés principalement à l'intention des gestionnaires et des exploitants de bâtiments, mais les renseignements qu'ils renferment peuvent être utiles à tous ceux qui cherchent à comprendre de façon générale les questions liées à la qualité de l'air intérieur.

Le CCQAIB veut être saisi de l'opinion des utilisateurs des documents et de leurs suggestions pour l'élaboration de nouveau matériel. Vous êtes invité à communiquer avec le secrétaire du CCQAIB à info@IAQforum.ca ou à vous inscrire sur le site internet au www.IAQforum.ca.

Classement du CNB	Exemples
Groupe A, Division 1	Théâtres, cinémas et autres installations pour les arts du spectacle
Groupe A, Division 2	Galeries d'art, musées, bibliothèques, bâtiments éducatifs (écoles, collèges et universités), gymnases, gares ferroviaires et aéroports
Groupe A, Division 3	Arénas et piscines
Groupe C	Appartements, hôtels, résidences d'étudiants
Groupe D	Bureaux, y compris les cabinets médicaux et dentaires
Groupe E	Magasins à rayons, supermarchés, boutiques, espaces pour le commerce de détail

Reproduction non commerciale

L'information sur le présent site est affichée dans le but de la rendre facilement accessible à des fins personnelles et publiques non commerciales et peut être reproduite en tout ou en partie et par tous les procédés. Nous demandons seulement que :

- les utilisateurs exercent une diligence raisonnable pour vérifier l'exactitude du matériel reproduit;
- le Comité canadien sur la qualité de l'air intérieur et les bâtiments soit reconnu comme étant la source;
- le matériel reproduit ne soit pas présenté comme une version officielle réalisée en collaboration avec le CCQAIB ou avec son appui.

Reproduction commerciale

Il est interdit de reproduire des exemples multiples du matériel sur le présent site, en tout ou en partie, à des fins de distribution commerciale.

Guide sur la qualité de l'air intérieur

Module 9 – Qualité de l'air intérieur et efficacité énergétique

Table des matières

1.	Objet du module	2
2.	Contexte	2
3.	Introduction – Qualité de l'air intérieur et efficacité énergétique dans les bâtiments	3
3.1	Qu'est-ce qu'un système d'alimentation en air intérieur?	3
3.2	Comment le système d'alimentation en air intérieur est-il relié à l'efficacité énergétique d'un bâtiment?	3
3.3	Codes, normes, documents, organisations et systèmes de cotation en matière de bâtiments éconergétiques et de QAI	4
3.4	Facteurs à considérer dans l'élaboration des stratégies de QAI éconergétiques pour les bâtiments – Cycle de vie des bâtiments et QAI éconergétique	5
	Stratégies d'amélioration d'une QAI éconergétique – Introduction	6
4.1	Types de systèmes de ventilation et stratégies d'alimentation	7
4.1.1	Systèmes de ventilation naturelle	7
4.1.2	Systèmes de ventilation mécanique	8
4.1.3	Systèmes de ventilation hybride	9
4.2	Maintenance et optimisation de la performance des bâtiments – Équipement et système CVCA	10
4.2.1	Optimisation du système CVCA pour une QAI éconergétique	10
4.2.2	Maintenance préventive et régulière du système CVCA	15
4.2.3	Amélioration de l'équipement CVCA pour réduire les charges internes	17
4.3	Maintenance et optimisation de la performance des bâtiments en matière d'énergie et de QAI – Le bâtiment physique et ses environs.....	18
4.4	Maximisation d'une QAI éconergétique – Suivi et évaluation continue	

de la performance	19
5. Étapes suivantes – Incorporation d’une QAI éconergétique au plan d’un bâtiment existant	22
5.1 Adaptation des profils de QAI et des processus d’audit	23
5.2 Adaptation d’autres stratégies liées au bâtiment.....	24
5.3 Communiquer avec les occupants du bâtiment.....	24
6. Références et autres sources d’information.....	25

Liste des tableaux et des figures

Tableau 3.1 Normes et codes	4
Tableau 4.1 Optimisation du système CVCA	10
Tableau 4.2 Amélioration de la performance du système CVCA	15

1. Objet du module

Le présent module fournit des lignes directrices qui permettront de parvenir à une qualité de l’air intérieur (QAI) acceptable dans les bâtiments existants au moyen de méthodes et de systèmes éconergétiques qui réduisent la consommation d’énergie. L’information présentée ici cible les exploitants de bâtiments qui gèrent des installations comme des bureaux, des entreprises de détail, des établissements d’enseignement et des hôtels, sans toutefois s’y limiter. Le module ne couvre toutefois pas les bâtiments industriels ou institutionnels comme les hôpitaux et les pénitenciers.

Le présent document fait partie d’une série de modules constituant le *Guide sur la qualité de l’air intérieur* du CCQAIB, disponible à l’adresse www.IAQforum.ca. Pour les définitions et les acronymes, consulter le Module 1 – Introduction à la qualité de l’air intérieur (QAI).

2. Contexte

« La relation complexe entre les conditions environnementales intérieures et extérieures, combinées aux impacts des changements climatiques, exige un changement de paradigme vers la création de bâtiments qui sont confortables et sains pour les occupants, mais qui sont également éconergétiques¹. » [TRADUCTION]

Il est généralement reconnu que le maintien d’une QAI acceptable est extrêmement important pour la santé, le confort et la productivité des occupants. Le maintien d’une bonne QAI n’a pas à se faire aux dépens de l’efficacité énergétique. Il existe de nombreux exemples d’outils, de techniques et de stratégies de QAI qui sont éconergétiques et réduisent la consommation d’énergie d’un bâtiment. On trouvera ces exemples dans les modules précédents de la présente série (p. ex. Module 6 – Bâtiments sans parfum). La plupart des mesures de conservation de l’énergie sont compatibles avec une bonne QAI

¹ Cette citation est tirée des actes de la conférence de l’ASHRAE de 2013.

ou peuvent être rendues compatibles moyennant certaines précautions. Nombre de mesures d'efficacité énergétique susceptibles de nuire à la qualité de l'environnement intérieur ne requièrent que des ajustements mineurs n'ayant pas d'incidences sur le rapport coût-efficacité (consulter le Module 3 – Activités d'entretien, maintenance, réparation et rénovation et le Module 6 – Bâtiments sans parfum pour plus d'information).

Certains soutiennent que l'accent sur l'efficacité énergétique a éclipsé les préoccupations liées au maintien d'une QAI adéquate. Les efforts visant à rendre les bâtiments plus éconergétiques peuvent ignorer certains aspects importants du point de vue de la QAI. Par exemple, la QAI d'un bâtiment peut diminuer si l'on rend l'enveloppe du bâtiment trop étanche dans le but de réduire les infiltrations d'air, à moins que de la ventilation supplémentaire soit fournie. Les mesures prises pour améliorer l'efficacité énergétique doivent donc également tenir compte de l'impact potentiel sur la QAI du bâtiment. Il est de ce fait important de mettre de l'avant les outils, les techniques et les stratégies qui permettent d'assurer autant l'efficacité énergétique que la QAI, et le présent guide en fournira des exemples. Certains de ces exemples présenteront les activités que les exploitants et les gestionnaires de bâtiments mènent régulièrement et habituellement pour maintenir une QAI acceptable, tandis que d'autres seront axés sur de l'information nouvelle et novatrice que les exploitants et les gestionnaires de bâtiments ne connaissent peut-être pas.

3. Introduction – Qualité de l'air intérieur et efficacité énergétique dans les bâtiments

3.1 Qu'est-ce qu'un système d'alimentation en air intérieur?

Tous les bâtiments habitables requièrent une alimentation en air extérieur. Le système d'alimentation en air intérieur est la structure au moyen de laquelle les bâtiments reçoivent cette alimentation en air extérieur. Les systèmes d'alimentation en air intérieur peuvent être passifs, les ouvertures dans le bâtiment laissant l'air extérieur entrer dans le bâtiment et en sortir, ou mécaniques, un système de ventilation mécanique étant alors utilisé pour faire entrer ou sortir l'air, ou être une combinaison de ces deux types de système. Selon les conditions climatiques, l'air extérieur peut avoir besoin d'être refroidi ou chauffé avant d'être distribué dans le bâtiment, auquel cas nous parlerons d'un système de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air (CVCA). En outre, l'humidification, la déshumidification ou le filtrage de l'air extérieur peuvent être requis. Des coûts de l'énergie sont associés à tous les procédés d'un système actif d'alimentation en air.

3.2 Comment le système d'alimentation en air intérieur est-il relié à l'efficacité énergétique d'un bâtiment?

Le système CVCA influence l'efficacité énergétique d'un bâtiment de par sa consommation d'énergie. Un système CVCA inefficace ou qui fonctionne

inadéquatement aura une incidence négative sur l'efficacité énergétique et la QAI du bâtiment en fournissant une ventilation inadéquate.

Un bâtiment éconergétique gère l'air intérieur et extérieur de façon efficace, ce qui signifie qu'il est doté d'un système bien entretenu et efficace au moyen duquel l'air extérieur pénètre dans le bâtiment et en ressort par l'entremise de systèmes de distribution mécanique ou naturelle de l'air. Au-delà de la QAI, les mesures d'efficacité énergétique du bâtiment peuvent également avoir une incidence sur les niveaux de bruit, de lumière et de confort thermique dans le bâtiment.

L'accent sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments a des conséquences tant positives que négatives sur la QAI. D'une part, presque tous les codes et les normes portant sur l'efficacité énergétique renferment des sections axées sur le lien entre la QAI et l'efficacité énergétique ou traitent de la façon dont les deux se recoupent dans la pratique. D'autre part, l'adoption et la promotion de l'efficacité énergétique dans les bâtiments sont axées sur les économies d'énergie et les réductions de coût associées à la ventilation et au conditionnement d'air, principalement en réduisant l'infiltration d'air au travers d'enveloppes étanches améliorées, ce qui peut être nuisible pour la QAI en réduisant l'alimentation en air extérieur frais et l'évacuation de l'air intérieur.

3.3 Codes, normes, documents, organisations et systèmes de cotation en matière de bâtiments éconergétiques et de QAI

Des consultations récentes sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments ont souligné comment le peu d'intérêt accordé aux questions de QAI est devenu un problème pour la santé, le confort et la productivité des occupants, ainsi que pour l'élaboration de stratégies énergétiques durables dans les bâtiments. Il est maintenant admis que les stratégies d'efficacité énergétique des bâtiments doivent tenir compte de la QAI. Il existe dans le monde une variété de normes qui évaluent l'efficacité énergétique des bâtiments et cotent ceux-ci en conséquence. Il existe également une variété de normes et de codes qui ont ouvert la voie à la détermination de ce qui constitue une QAI acceptable, ainsi que des caractéristiques de conception, de construction, de mise en place, d'entretien et d'exploitation des systèmes d'alimentation en air intérieur. Les exemples de normes, de programmes ou de codes qui fournissent un encadrement réglementaire sur les recoupements entre l'efficacité énergétique et la QAI sont indiqués dans le tableau cidessous.

Tableau 3.1 – Normes et codes

Normes et codes	Emplacement
Code national de l'énergie pour les bâtiments 2011	http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/publications/centres_codes/2011_code_national_energie_batiments.html

Documents sur l'efficacité énergétique pour les bâtiments de RNCAN	http://www.nrcan.gc.ca/energie/efficacite
Code national du bâtiment du Canada 2010	http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/solutions/consultatifs/centre_codes_index.html
Codes provinciaux (c.-à-d. Alberta 2006, Ontario 2012, C.-B. 2012)	Trouvés sur le site Web du gouvernement de chaque province
Norme ANSI/ASHRAE 62.1-2013 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality Norme ANSI/ASHRAE 62.2-2013 – Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings	https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/standards-62-1-62-2
Norme ASHRAE 55-2013 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy	https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/standard-55
Norme ASHRAE 100-2006 – Energy Conservation in Existing Buildings (review draft)	https://osr.ashrae.org/Public%20Review%20Draft%20Standards%20Lib/Std-100-2006R-APR1-Draft 2011-0411 v4.pdf
Norme ASHRAE 90.1 2013 – Energy Standard for	https://ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.1-2013_I-P
Low Rise Buildings except Low-Rise Residential Buildings	
Norme ASHRAE 90.2 2007 – Energy Standard for Low Rise Buildings	https://ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.2-2007
Programmes et certifications	
LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	http://www.cagbc.org/cbdca/
BOMA BEST (Building Environmental Standards)	http://www.bomabest.com/fr/
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	http://www.breeam.org/
PassivHaus	http://www.passivehouse.ca/
Documents et guides	
Comité canadien sur la qualité de l'air et les bâtiments (CCQAIB) 2013	http://iaqforum.ca/fr/
Programme d'encouragement pour les bâtiments commerciaux (PEBC)	https://www.nrcan.gc.ca/audit/reports/2007/1086

Guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement 2000	http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/biensproperty/gd-env-cnstrctn/indexfra.html
EnerGuide 2013	http://oee.nrcan.gc.ca/energuide/index.cfm
Indoor Air Quality Guide: Best Practices for Design, Construction and Commissioning 2009 (publié par l'ASHRAE)	http://cms.ashrae.biz/iaqguide/pdf/IAQGuide.pdf?bcsi_scan_C17DAEAF2505A29E=0&bcsi_scan_filename=IAQGuide.pdf
Documents et modules sur la qualité de l'air intérieur (QAI) publiés par l'EPA	http://www.epa.gov/iaq/
IAQ in Large and Commercial Buildings – IAQ Building Education and Assessment Model (I-BEAM)	http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/ibeam/index.html
Building Air Quality (BAQ) – A Guide for Building Owners and Facility Managers	http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/baq_page.htm

3.4. Facteurs à considérer dans l'élaboration des stratégies de QAI éconergétiques pour les bâtiments – Cycle de vie des bâtiments et QAI éconergétique

Avant d'élaborer une stratégie détaillée d'incorporation de mesures de QAI éconergétiques à un bâtiment existant, il convient de tenir compte des aspects ci-dessous.

- **Équilibrer les cibles d'efficacité énergétique et les cibles de QAI.** Avant toute intervention dans le bâtiment, il est très important que les gestionnaires et les propriétaires de bâtiments connaissent les normes ou les cibles existantes en matière de QAI et d'efficacité énergétique des bâtiments. La plupart des programmes de certification, des normes et des codes du bâtiment en matière d'efficacité énergétique incluent aussi des sections sur la QAI. De nombreux programmes de certification possèdent également des critères d'évaluation comparative pour l'efficacité énergétique et la QAI. Ces critères doivent être inclus dans le profil de QAI de base initial du bâtiment et les audits de QAI subséquents.
- **Rentabilité, efficacité énergétique et QAI.** Typiquement, l'amélioration de l'efficacité énergétique et de l'efficacité de la QAI mènera à des économies monétaires à long terme pour les propriétaires et les exploitants de bâtiments. L'investissement initial nécessaire pour modifier, améliorer ou moderniser un bâtiment existant peut être substantiel, mais les dépenses peuvent être recouvrées sur une période de temps relativement courte grâce à des coûts d'entretien et d'exploitation réduits.

- **Confort des occupants, QAI et efficacité énergétique.** Une mauvaise QAI a un impact négatif sur la santé, le confort et la productivité des occupants, et représente un coût indirect, ce qui est une préoccupation pour les exploitants et les locataires d'un bâtiment. Toute évaluation des économies de coût associées à la mise en œuvre de nouvelles mesures d'efficacité énergétique doit donc tenir compte du coût négatif possible d'une QAI dégradée.

4. Stratégies d'amélioration d'une QAI éconergétique – Introduction

De manière générale, l'amélioration de l'efficacité énergétique, de la performance et de la QAI d'un bâtiment est centrée sur les cinq stratégies suivantes :

1. Réduction de la charge énergétique des systèmes du bâtiment
2. Utilisation des ressources thermiques environnementales disponibles
3. Amélioration de l'efficacité énergétique du système CVCA grâce à des composants éconergétiques
4. Optimisation de la régulation et du fonctionnement des systèmes du bâtiment
5. Compensation de la consommation énergétique du système CVCA par des sources d'énergie renouvelables (si possible)

Idéalement, ces stratégies devraient être envisagées au cours de la phase de conception du bâtiment. Les propriétaires et les exploitants de bâtiments ne sont toutefois pas toujours en mesure de modifier la conception d'un bâtiment existant. La présente section abordera une variété d'aspects que les exploitants et les gestionnaires de bâtiments doivent connaître pour prendre des décisions éclairées en vue de l'optimisation de l'efficacité énergétique et de la QAI dans des bâtiments existants. Ces aspects sont les suivants :

1. Compréhension des différents types d'infiltration, de systèmes de ventilation et de stratégies d'alimentation en air pour les bâtiments
2. Optimisation et maintien de la performance du bâtiment en matière de QAI et d'énergie au moyen de l'équipement et du système CVCA
3. Optimisation et maintien de la performance du bâtiment en matière de QAI et d'énergie au moyen de l'environnement extérieur et intérieur du bâtiment
4. Maintien et optimisation de la performance du bâtiment
5. Mise en œuvre d'une surveillance et d'une évaluation continues du système CVCA et du bâtiment

4.1 Types de systèmes de ventilation et stratégies d'alimentation

La ventilation du bâtiment peut être réalisée au moyen d'une ventilation naturelle, d'une ventilation mécanique ou d'une ventilation hybride combinant les deux premiers types. Chacun de ces systèmes utilise l'énergie de différentes façons, et présente différents avantages et désavantages pour la QAI et l'efficacité énergétique du bâtiment. Il est important de comprendre ces types de systèmes de ventilation et de déterminer les

stratégies possibles que les gestionnaires et les propriétaires de bâtiments pourraient utiliser pour améliorer la QAI et l'efficacité énergétique.

4.1.1 Systèmes de ventilation naturelle

Les systèmes de ventilation naturelle (SVN) reposent sur les différences de pression pour déplacer l'air frais dans un bâtiment. Il est utile de voir un système de ventilation naturelle comme un circuit dans lequel une considération égale est accordée à l'alimentation en air et à l'évacuation/retour d'air. Voici trois exemples courants de systèmes de ventilation naturelle qui peuvent être pertinents pour les bâtiments existants : la ventilation transversale sous l'effet du vent, la ventilation par tirage thermique et la ventilation nocturne.

La **ventilation transversale sous l'effet du vent** utilise les pressions générées sur le bâtiment par le vent pour faire entrer l'air par les ouvertures du bâtiment du côté exposé au vent. Ce système d'infiltration est surtout efficace dans les climats où il y a beaucoup de vent, et dans les bâtiments hauts et étroits dotés de nombreuses petites ouvertures qui peuvent être ouvertes ou fermées.

La **ventilation par tirage thermique** utilise l'effet de poussée pour déplacer l'air dans un bâtiment, l'air chaud moins dense étant poussé vers le haut par l'air frais plus dense. L'air intérieur chaud s'échappe par les ouvertures en hauteur tandis que l'air extérieur frais pénètre dans le bâtiment par les ouvertures inférieures. Ce type d'infiltration est avantageux pour les bâtiments d'une grande superficie au sol qui ne sont pas situés dans des emplacements venteux. Ce type de système peut toutefois présenter des problèmes de bruit et de non-conformité aux codes de prévention des incendies, et peut mener à un débit d'air réduit et à des gains thermiques accrus dans les zones supérieures du bâtiment.

Les systèmes de **ventilation nocturne** utilisent l'air froid de la nuit pour refroidir un bâtiment et compenser ou réduire les gains thermiques absorbés par le bâtiment pendant la journée. La ventilation nocturne peut être assurée par des forces naturelles (c.-à-d. le tirage thermique ou le vent), mais peut également utiliser des ventilateurs auxiliaires pour fournir un débit d'air suffisant lorsque les forces naturelles sont faibles ou pour permettre l'utilisation de plus petites gaines (offrant une plus grande résistance). Ces systèmes sont surtout efficaces dans les bâtiments qui ne sont pas occupés la nuit.

Du point de vue de l'efficacité énergétique et de la QAI, les systèmes de ventilation naturelle présentent tant des avantages que des inconvénients. Leur principal avantage est leur nature passive, qui mène souvent à des coûts d'exploitation plus bas par rapport aux systèmes de ventilation mécanique. De nombreux occupants de bâtiment réagissent positivement aux systèmes de ventilation naturelle, perçus comme des systèmes qui permettent l'entrée d'une plus grande quantité d'air extérieur « frais » dans le bâtiment, ce qui augmente la QAI. Certains soutiennent que l'accès aux ouvertures d'un bâtiment, qui permet la régulation modulable du débit d'air et de la température, améliore la QAI

d'un bâtiment. En outre, l'infiltration naturelle peut également permettre de réduire la quantité et la taille des gaines d'air du bâtiment, et donc la quantité d'air recyclé. Les systèmes de ventilation naturelle peuvent cependant nécessiter des systèmes de filtration de l'air extérieur fourni, qui peut ne pas être aussi « frais » que les occupants le perçoivent, ainsi que des systèmes pour chauffer l'air ou en réduire la teneur en humidité. Il est utile pour les gestionnaires, les exploitants et les propriétaires de bâtiments de déterminer si la ventilation naturelle est la bonne stratégie pour leur bâtiment, d'après la conception de ce dernier (hauteur, aménagement, etc.), l'orientation du site, le climat et l'utilisation des occupants.

4.1.2 Systèmes de ventilation mécanique

Les systèmes de ventilation mécanique utilisent un réseau de ventilateurs et de gaines pour faire circuler l'air d'alimentation et l'air de reprise dans le bâtiment, ainsi que pour éliminer l'humidité, les odeurs et d'autres contaminants. Ce réseau de composants mécaniques est généralement appelé système CVCA. En réponse à la nécessité d'applications éconergétiques, les systèmes de ventilation mécanique sont devenus de plus en plus efficaces du point de vue de la consommation d'énergie, et de la satisfaction des besoins thermiques et de confort des occupants.

Trois types de systèmes CVCA sont couramment utilisés au Canada : les systèmes à volume d'air constant, les systèmes à volume d'air variable et les systèmes de ventilation à commande contrôlée. Chacun de ces types de système présente de nombreuses variations et configurations.

Les **systèmes à volume d'air constant** (VAC) utilisent un thermostat central pour réguler automatiquement la température de l'air dans le bâtiment et règlent la température dans l'espace en modifiant la température de l'air d'alimentation tout en maintenant un débit d'air constant. La plupart des systèmes VAC sont petits et desservent quelques zones seulement, mais ces systèmes peuvent également être utilisés dans de grands bâtiments à zones multiples (systèmes VAC doubles et multizones). La plupart du temps, les systèmes VAC utilisent une commande arrêt/marche plutôt que la modulation de la température de l'air d'alimentation pour faire varier la capacité de chauffage ou de refroidissement. Ce type de système ne procure généralement pas une régulation flexible de la température dans les zones desservies, ce qui peut nuire à leur capacité de modifier la QAI dans une zone donnée. En outre, les systèmes VAC ne sont généralement pas aussi éconergétiques que d'autres systèmes de ventilation mécanique parce que leurs serpentins de chauffage et de refroidissement fonctionnent en même temps.

Les **systèmes à volume d'air variable** (VAV) règlent la température dans un espace en variant le débit de l'air d'alimentation tout en maintenant la température de l'air d'alimentation constante. Les systèmes VAV utilisent un ventilateur à vitesse variable commandé par un inverseur à fréquence variable, par la position des registres d'admission des ventilateurs ou par d'autres dispositifs de commande du débit. Les

systèmes VAV peuvent desservir des secteurs multiples et peuvent fournir plus de régulation modulable dans des secteurs donnés, étant typiquement plus éconergétiques que les systèmes VAC. Ils sont également plus flexibles, déshumidifient plus efficacement et peuvent répondre aux besoins de QAI variés de différents secteurs du bâtiment. Certains s'inquiètent cependant que leur capacité de diluer adéquatement les contaminants de l'air intérieur dans des conditions de charge partielle ne soit réduite.

Les *systèmes de ventilation à commande contrôlée* (VCC) sont un type plus précis de systèmes VAV dans lesquels la quantité d'air d'alimentation est ajustée en fonction des besoins de ventilation. L'objectif d'un système VCC est de garder les taux de renouvellement d'air aux valeurs de calcul et aux valeurs exigées par le code, ou au-dessus de ces valeurs, et d'économiser l'énergie en évitant une ventilation excessive. Les systèmes VCC sont souvent mis en œuvre dans des espaces où l'occupation est élevée et variable, comme les auditoriums. Certains systèmes VCC modulent automatiquement les taux de renouvellement d'air en fonction des concentrations intérieures mesurées de dioxyde de carbone (CO₂) émises par les occupants du bâtiment, ou des lectures des détecteurs d'oxyde d'azote (Nox) et de l'heure du jour, ce qui permet un plus grand contrôle de la QAI par les occupants. Les systèmes VCC utilisent généralement moins d'énergie pour le fonctionnement des ventilateurs, ainsi que pour le chauffage et le refroidissement de l'air d'alimentation. La régulation des systèmes VCC en fonction de la température des espaces élimine également la nécessité d'un chauffage supplémentaire lorsque la capacité de refroidissement de l'air d'alimentation dépasse la capacité de refroidissement nécessaire. Une sélection et une conception inappropriées des dispositifs de commande du débit d'air et de l'air d'alimentation sont toutefois une cause courante du bruit et des tirages excessifs associés aux systèmes VCC. De plus, la régulation directe des thermostats par les occupants peut mener à un refroidissement insuffisant ou excessif du bâtiment.

4.1.3 Systèmes de ventilation hybride

Les systèmes de ventilation hybride combinent tant la ventilation naturelle que la ventilation mécanique. Les propriétaires, les concepteurs et les exploitants de bâtiments pèsent les avantages et les désavantages de chaque système, et mettent au point un système combiné de composants pour le bâtiment. Des systèmes de ventilation et de refroidissement mécaniques peuvent être utilisés pour servir d'appoint à la ventilation naturelle et vice versa. Les systèmes de ventilation hybride sont pratiques parce que dans le climat canadien, les bâtiments ne peuvent pas compter exclusivement sur la ventilation naturelle tout au long de l'année. Une meilleure connaissance des méthodes de ventilation naturelle a rendu ce type de systèmes plus attrayant pour les occupants, les gestionnaires et les propriétaires de bâtiments.

4.2 Maintenance et optimisation de la performance des bâtiments – Équipement et système CVCA

4.2.1 Optimisation du système CVCA pour une QAI éconergétique

L'optimisation d'un système CVCA en fonction de la qualité de l'air intérieur et de l'efficacité énergétique a un lien direct avec la maintenance de l'équipement du bâtiment, de même qu'avec l'inspection et le nettoyage réguliers du système CVCA conformément aux normes, aux programmes et aux codes énumérés dans le tableau 3.2. Conformément à ces normes, codes et programmes, il est important :

- de s'assurer que le système CVCA fonctionne tel qu'il a été conçu;
- de s'assurer que le système CVCA ne fait pas circuler et ne distribue pas de poussière, de saletés et d'autres contaminants dans le réseau de circulation d'air du bâtiment;
- d'informer le gestionnaire ou l'exploitant du bâtiment si le système CVCA requiert différents composants, réglages, etc.;
- d'informer le gestionnaire ou l'exploitant du bâtiment si le système CVCA requiert plus que de la simple maintenance et peut être optimisé seulement par un remplacement.

En plus de la maintenance des composants d'un système CVCA, il est également important de s'assurer que les composants du système sont optimisés de manière à fournir une qualité de l'air intérieur élevée d'une façon éconergétique. Les systèmes VCC, la plupart des systèmes VAV et certains systèmes VAC peuvent être rendus plus efficaces du point de vue de la consommation d'énergie et d'une QAI améliorée au moyen des stratégies générales présentées ci-dessous (tableau 4.1)².

Tableau 4.1 – Optimisation du système CVCA

Description/discussion – Enjeu ou composant	Recommandations
---	-----------------

² Mari-Liis, Maripuu (Ph. D.). « Demand Controlled Ventilation (DCV) for Better IAQ and Energy Efficiency », *HVAC Journal Online*, 2011.

<http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2011/022011/demandcontrolled-ventilation-dcv-for-better-iaq-and-energy-efficiency>

<p>Réduire les débits d'air extérieur du système CVCA, et réduire au minimum les débits d'évacuation et d'appoint (ventilation) dans la mesure du possible.</p> <p>Si la réduction des débits d'air extérieur est considérée comme une pratique exemplaire par la plupart des normes et des codes pour maximiser l'efficacité énergétique, la réduction des débits d'air doit être faite avec prudence en</p>	<p>Dans les unités VAV terminales à gaine simple ou double, réduire le débit d'air minimal au plus bas réglage possible pour satisfaire aux exigences de ventilation. Réduire l'utilisation d'air extérieur pendant le réchauffage du matin, alors que le bâtiment est inoccupé, tout en veillant à ce que l'air du bâtiment soit adéquat avant l'arrivée des occupants.</p> <p>Convertir les systèmes d'alimentation à mélange</p>
<p>conformité avec les exigences locales, provinciales ou fédérales les plus strictes. Il est facile de changer les paramètres opérationnels en fonction d'un réglage minimal, mais le gestionnaire ou l'exploitant du bâtiment doit s'assurer que la QAI du bâtiment satisfait également aux normes et aux codes pertinents, ce qui implique une évaluation, des essais, un équilibrage et des ajustements attentifs visant à garantir la satisfaction des exigences de fourniture d'une quantité suffisante d'air d'alimentation extérieur dans tous les secteurs du bâtiment.</p>	<p>d'air en systèmes de ventilation par déplacement d'air afin de créer une stratification des températures dans les espaces à haut plafond et besoins de refroidissement prédominants. Réguler l'EVV (entraînement à vitesse variable) des ventilateurs d'alimentation en fonction des besoins de pression statique du système. Régler dynamiquement le point de consigne de la pression statique au réglage le plus bas possible satisfaisant au point de consigne de zone. Régler le point de consigne de la température de l'air d'alimentation du système VAV/VCC lorsque le système est à la vitesse minimale pour fournir une ventilation adéquate.</p> <p>Pour les systèmes VAC, si la conversion à un système VAV/VCC n'est pas possible, régler la température de l'air d'alimentation en réponse à la charge. Régler dynamiquement la température des gaines de chauffage à la plus basse valeur possible et la température des gaines de refroidissement à la plus haute valeur possible tout en rencontrant la charge.</p>
<p>Isolation des composants CVCA</p>	<p>Isoler les gaines et les tuyaux CVCA, en particulier s'ils sont à l'extérieur de l'espace conditionné. Isoler les ventilo-convecteurs et éviter une mise en place dans des espaces non conditionnés. Il est important de noter que l'isolation doit être correctement effectuée pour éviter qu'un dégagement gazeux des matériaux isolants (p. ex. isolant projeté) se produise ou pénètre dans le système CVCA. On s'assurera en particulier de choisir un matériau isolant émettant le moins de COV possible.</p>

<p>Économiseurs L'utilisation d'économiseurs rend les systèmes CVCA plus éconergétiques et efficaces. Des économiseurs côté air modulent l'utilisation d'air extérieur plus frais pour fournir un refroidissement gratuit à l'espace en utilisant des registres, des dispositifs de commande, des détecteurs et des contrôleurs pour régler la quantité d'air extérieur introduite dans le bâtiment, de même que la quantité d'air de reprise qui est recyclée ou évacuée. Des</p>	<p>Les économiseurs sont particulièrement bien adaptés aux climats froids et peuvent améliorer la qualité de l'air intérieur, car ils utilisent l'air extérieur plus frais et plus sec pour refroidir l'espace intérieur. Les économiseurs sont plus efficaces lorsqu'une stratégie de réglage sur quatre saisons est utilisée parce qu'en été et au printemps, ils ne fonctionnent pas aussi souvent en raison de la température et de l'humidité plus élevées de l'air extérieur.</p>
---	---

<p>économiseurs côté eau utilisent des tours de refroidissement qui fournissent de l'eau refroidie sans l'utilisation de compresseurs énergivores.</p>	
<p>Ventilation centrale et ventilation réglée par les occupants Les systèmes VCC et VAV permettent le réglage du débit d'air et de la température dans différentes zones ou pièces du bâtiment, ce qui offre aux occupants l'option de régler les commandes eux-mêmes en fonction de leurs besoins. Les occupants ne règlent toutefois pas toujours les commandes d'une façon qui est optimale pour l'efficacité énergétique ou la QAI.</p>	<p>Il est nécessaire d'éduquer et de former les occupants relativement à la QAI et aux systèmes de ventilation. Il est important pour le gestionnaire du bâtiment d'évaluer si les commandes VCC/VAV et les ouvertures de circulation d'air doivent être régulées par les occupants ou centralisées. Envisager une ventilation programmée et des méthodes de circulation d'air qui permettent les changements apportés par les occupants ainsi qu'une régulation plus précise basée sur l'occupation, les conditions climatiques et le moment de la journée.</p>

<p>Optimisation des systèmes de refroidissement CVCA – Tours de refroidissement et refroidisseurs</p> <p>Les refroidisseurs d'eau et les tours de refroidissement sont utilisés dans les applications de conditionnement d'air pour refroidir et déshumidifier l'air. L'eau refroidie est distribuée aux échangeurs de chaleur dans les unités de traitement de l'air ou d'autres dispositifs qui refroidissent l'air et est retournée au refroidisseur ou à la tour de refroidissement pour être refroidie à nouveau. La quantité réelle de refroidissement qu'un système de conditionnement d'air reçoit d'un refroidisseur ou d'une tour de refroidissement dépend de l'humidité relative de l'air et de la pression barométrique. Il est important qu'une quantité adéquate d'eau en circulation soit disponible en tout temps dans le système. À cause de l'évaporation, de l'eau doit être ajoutée régulièrement au refroidisseur ou au bassin de la tour de refroidissement. Si le niveau d'eau est trop bas, la pompe aspire de l'air et si le niveau d'eau est trop élevé, il peut se produire un débordement entraînant des dommages au toit et des fuites possibles.</p>	<p>Limiter l'impact et la croissance des contaminants au moyen de programmes de traitement de l'eau (utiliser des biocides dans l'eau en circulation ou exposer l'eau à la lumière ultraviolette au moyen de chambres installées dans la tour). Utiliser des biocides qui sont moins susceptibles de nuire à la QAI.</p> <p>Utiliser un système d'évacuation qui « vidange » une portion de l'eau en circulation et la remplace par de l'eau fraîche.</p> <p>Régler le niveau d'eau de la tour de refroidissement/refroidisseur en ajoutant de l'eau au bassin, et utiliser un robinet à flotteur ou une commande de niveau électronique qui maintient les niveaux d'eau entre un minimum et un maximum.</p> <p>Utiliser un compteur sur la conduite d'eau de la tour de refroidisseur et faire des lectures quotidiennes ou hebdomadaires afin de déceler les problèmes.</p> <p>Augmenter la température de l'air d'alimentation afin de réduire la consommation d'énergie du refroidisseur.</p>
<p>Systèmes de ventilation à récupération de la chaleur et de l'énergie</p> <p>Utiliser la chaleur récupérée de l'air</p>	<p>Les systèmes VRE augmentent la possibilité d'une réduction de la taille des autres équipements CVCA.</p>

<p>d'évacuation pour le pré-chauffage ou le prérefroidissement de l'air extérieur entrant. Les systèmes de ventilation à récupération de chaleur (VRC) et les systèmes de ventilation à récupération de l'énergie (VRE) fournissent d'excellentes occasions d'économiser l'énergie, de gérer l'humidité et de fournir suffisamment d'air extérieur pour favoriser la QAI dans les bâtiments renfermant un grand nombre d'occupants. Les systèmes de récupération de la chaleur transfèrent la chaleur de l'air évacué à l'air extérieur entrant. Les systèmes de ventilation à récupération de la chaleur transfèrent tant la chaleur que l'humidité de l'air évacué à l'air d'admission au moyen d'un échangeur de chaleur air-air. Ce faisant, ils maintiennent l'humidité intérieure à des niveaux appropriés, évitant que l'air intérieur devienne trop sec en hiver et trop humide en été.</p>	<p>Utiliser des systèmes VRE avec échangeur de chaleur à plaques et des systèmes VRE à roue thermique.</p> <p>Utiliser des systèmes de captage des gaz d'échappement dans les stationnements et les aires semi-fermées. Ces systèmes captent les émanations et les dérivés produits par les moteurs de véhicule, et préviennent la contamination de l'air du bâtiment.</p> <p>Utiliser des échangeurs de chaleur dotés de tubes de petit diamètre, qui permettent une conception compacte assurant un transfert de chaleur plus efficace et des exigences de puissance des ventilateurs réduites.</p>
<p>Filtres à valeurs MERV appropriées – filtres VRC et VRE</p> <p>La valeur <i>MERV</i> (<i>minimum efficiency reporting value</i> ou valeur de référence d'efficacité minimale) est une échelle de mesure conçue par l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) pour coter l'efficacité des filtres à air. Elle fournit une cotation précise et exacte pour une santé améliorée, un coût réduit et une efficacité énergétique des systèmes CVCA.</p>	<p>Rechercher les systèmes de classement des filtres qui aident à déterminer quels filtres sont les plus appropriés et efficaces pour le système CVCA du bâtiment.</p> <p>Il convient de noter que l'utilisation de filtres haute efficacité (valeurs MERV élevées) mène généralement à une chute de pression plus grande au filtre en raison de la plus grande résistance au travers de celui-ci. Plus d'énergie sera donc requise pour fournir un débit donné.</p>

<p>Optimisation de l'efficacité du système de diffusion de la chaleur et du refroidissement – méthodes de prévision de l'efficacité sous charge partielle</p> <p>La performance sous charge partielle de l'équipement est une considération critique pour le dimensionnement du système CVCA. La majeure partie de l'équipement de chauffage et de refroidissement fonctionne à son efficacité nominale seulement à pleine charge (ou à sa capacité maximale ou près de celle-ci). Les systèmes CVCA sont toutefois dimensionnés pour satisfaire à des conditions de chauffage et de refroidissement qui surviennent seulement un</p>	<p>Utiliser des systèmes et des composants qui fonctionnent efficacement dans des conditions de charge partielle, comme :</p> <p>des ventilateurs haute efficacité à volume variable et des commandes d'entraînement à vitesse variable pour les moteurs de ventilateur; des chaudières à capacité variable (p. ex. des chaudières à condensation); des systèmes de refroidissement à capacité variable (p. ex. des refroidisseurs modulaires, de l'équipement à compresseurs multiples et des refroidisseurs à vitesse variable); des tours de refroidissement à capacité variable (p. ex. des tours à cellules multiples avec ventilateurs à vitesse variable ou</p>
<p>faible pourcentage du temps. Les systèmes CVCA sont intentionnellement surdimensionnés pour répondre aux charges de pointe et procurer un facteur de sécurité. Les systèmes ne fonctionnent néanmoins presque jamais à pleine charge. En fait, la plupart des systèmes fonctionnent à seulement 50 % ou moins de leur capacité.</p>	<p>à deux vitesses); des systèmes de pompes à capacité variable (p. ex. boucles primaires/secondaires, moteurs de pompe à vitesse variable).</p> <p>Utiliser des commandes de réglage de la température pour l'eau chaude, l'eau refroidie et l'air d'alimentation.</p> <p>S'assurer que les composants CVCA sont bien isolés et que les gaines d'air sont étanches.</p> <p>Réduire les charges au moyen du prérefroidissement nocturne et du démarrage séquentiel de l'équipement pour éliminer les pics de demande.</p>

<p>Volume de frigorigène variable (VfV) Un système VfV est un système de conditionnement d'air composé d'une unité de condensation extérieure et d'unités d'évaporation intérieures multiples. La quantité de frigorigène s'écoulant vers les unités intérieures multiples peut être régulée, permettant le raccordement de capacités et de configurations différentes à une unité de condensation unique. Le système offre une régulation programmable individualisée, et un chauffage et un refroidissement simultanés dans différents secteurs du bâtiment. Les systèmes VfV utilisent moins de tubes de cuivre, réduisent au minimum le trajet du frigorigène et maximisent l'efficacité de la réfrigération. Les systèmes VfV peuvent être utilisés pour le refroidissement, le pompage de chaleur ou la récupération de la chaleur. Ils sont modulaires et faciles à installer, et ne requièrent pas de gaines, ce qui réduit les pertes de débit d'air. Ces systèmes exigent toutefois qu'un système de ventilation séparé soit intégré au bâtiment.</p>	<p>Utiliser des systèmes VfV au lieu de systèmes de conditionnement d'air bibloc ou multibloc parce que, contrairement à ces derniers, dont l'arrêt ou la mise en marche sont commandés par un contrôleur principal, les systèmes VfV ajustent continuellement le débit de frigorigène fourni à chaque évaporateur intérieur. Ces systèmes procurent un meilleur débit d'air et moins de points chauds/froids, et présentent moins de problèmes de maintenance.</p> <p>Utiliser un système de récupération de chaleur VfV qui peut fournir des économies d'énergie additionnelles.</p> <p>Utiliser des frigorigènes inoffensifs ne menaçant pas l'ozone.</p>
<p>Optimisation des détecteurs et des commandes du système</p> <p>Les détecteurs et les commandes optimisent la performance des systèmes CVCA (p. ex. points de consigne du réglage en fonction de la température extérieure, optimisation des heures de mise en marche/arrêt en fonction de l'occupation, etc.) et sont utilisés par les</p>	<p>Inclure des détecteurs qui surveillent des composés organiques volatils (COV) nuisibles émis par les produits de nettoyage, les peintures, les colles, l'ameublement, les matériaux de construction. De tels détecteurs peuvent être ajoutés à d'autres détecteurs du système CVCA et aux systèmes du panneau de commande.</p> <p>S'assurer que les détecteurs et les contrôleurs</p>

<p>systèmes VCC/VAV pour maintenir une QAI optimale et réduire la consommation d'énergie. Les détecteurs servent également à cerner les problèmes, à suivre la performance du système, et à établir des données de base et de référence pour le bâtiment. Les détecteurs installés dans des pièces ou zones qui permettent le réglage de points de consigne et de dérogations par les occupants. Citons à titre d'exemple les détecteurs de température et d'humidité qui gèrent le confort thermique, ainsi que les détecteurs de dioxyde de carbone (CO₂) et de monoxyde de carbone (CO) qui surveillent les polluants.</p>	<p>sont dotés d'alarmes et peuvent avertir ou alerter gestionnaire ou l'exploitant du bâtiment et le personnel de maintenance en cas de problèmes avant que ceux-ci commencent à causer de l'inconfort chez les occupants du bâtiment. Les détecteurs à ports de données procurent au personnel d'entretien du bâtiment un accès rapide au réseau au moyen d'un ordinateur portable et d'une interface réseau. Adopter des commandes intelligentes qui fusionnent les systèmes d'automatisation du bâtiment avec les infrastructures de technologie de l'information (TI). Réduire le fonctionnement pendant la nuit ou arrêter l'équipement CVCA lorsque le bâtiment est inoccupé. Installer des détecteurs d'occupation avec les systèmes VAV pour réduire les températures et fermer les compartiments.</p>
--	--

4.2.2 Maintenance préventive et régulière du système CVCA

La maintenance préventive et régulière du système CVCA améliore la QAI et réduit la consommation d'énergie en éliminant les sources de contaminants³. On trouvera au tableau 4.2 des exemples de pratique exemplaire de maintenance de systèmes CVCA (pour des exemples additionnels, consulter la section 6 du Module 3 – Activités d'entretien, maintenance, réparation et rénovation):

Tableau 4.2 – Amélioration de la performance du système CVCA

Composants/problèmes	Points à vérifier ou mesures à prendre
Problèmes généraux de débit d'air	Mesurer le débit d'air et le vérifier par rapport aux normes et aux codes, ainsi qu'aux données de base ou de référence du fonctionnement du système CVCA.

³ Un programme de maintenance préventive devrait inclure l'évaluation de l'état de l'équipement au moyen d'une vérification périodique ou continue de l'équipement (maintenance prédictive); d'une inspection et d'un entretien périodiques d'un bâtiment et de son équipement en vue de prévenir les défaillances (maintenance préventive spécifique); d'une stratégie visant à stabiliser la fiabilité de l'équipement au moyen de services de maintenance spécialisés (maintenance proactive); et d'un plan de maintenance servant à créer une stratégie de maintenance efficace pour corriger les causes dominantes des défaillances de l'équipement (maintenance axée sur la fiabilité). Voir le chapitre 10 – Preventive Maintenance, dans *Indoor Air Quality Solutions for Stationary Engineers*, aux pages 174-197, pour plus d'information.

Serpentins Rechercher les moisissures, les champignons, la poussière et
d'évaporateur et de les saletés du côté alimentation en air extérieur. Nettoyer et
condenseur, et bacs de s'assurer que l'eau stagnante a été vidangée.

récupération

Tours de refroidissement

Les tours de refroidissement fonctionnent dans des environnements qui les exposent à un éventail de contaminants. La poussière, les saletés, le sable et la boue peuvent être introduits dans la tour de refroidissement à partir de l'atmosphère et dans l'alimentation en eau de la tour. Ces matières solides s'accumulent dans le bassin de la tour, érodent les rotors des pompes de circulation, obstruent les buses et forment du tartre sur les surfaces de transfert de la chaleur. Les matières organiques, comme les feuilles, le gazon et le pollen, et les contaminants biologiques comme les algues et les bactéries peuvent également être introduits dans la tour de refroidissement et son alimentation en eau, et s'accumuler dans les bassins, les buses et les surfaces de transfert de la chaleur. Il faut tout particulièrement prendre soin d'éviter que des contaminants biologiques viables, comme des bactéries, se propagent dans l'eau. Un compteur devrait être utilisé dans le bassin de la tour pour faire le suivi des niveaux d'eau chaque jour ou chaque semaine et assurer un fonctionnement adéquat.

Composants mécaniques – ventilateurs, roulements, courroies et moteurs

Veiller à ce que l'étalonnage, l'alignement et la tension des courroies soient adéquats. Enlever la poussière et les débris, et s'assurer que les moteurs de ventilateur tournent dans la bonne direction. Des étiquettes claires sur le logement des ventilateurs, les poulies, le moteur et les fils peuvent prévenir des problèmes. Si possible, remplacer les courroies de ventilateur standard par des courroies conçues pour réduire au minimum les pertes d'énergie (comme des courroies dentées).

Composants mécaniques – thermostats, commandes	Veiller à ce que l'étalonnage des détecteurs et des commandes soit adéquat. Des détecteurs défectueux sont souvent le résultat de disques d'arrêt qui ne peuvent pas être étalonnés ou ajustés, ainsi que de fils brisés. Les problèmes incluent souvent des réglages de thermostat inappropriés, des ventilateurs qui fonctionnent continuellement pendant les périodes d'inoccupation, des résistances mal installées, et l'absence de réglage de nuit ou de programmation. Faire effectuer un cycle complet aux ventilateurs pendant les périodes occupées et vérifier les thermostats régulièrement pour assurer une performance optimale.
Bouches de ventilation	Inspecter les bouches de ventilation à la recherche de moisissures et d'autres polluants.
Filtres	Inspecter les filtres régulièrement (tous les six mois ou moins) et les remplacer au besoin.
Inspecter la surface autour des prises d'air	De l'eau peut s'accumuler autour des unités de traitement d'air, et des moisissures et des bactéries peuvent se développer. La présence de moisissures près des prises d'air pourrait mener à l'aspiration des moisissures dans le bâtiment. Rechercher l'eau stagnante près des unités de traitement d'air.
Réparer les fuites dans l'armoire et les gaines d'alimentation (chaque année)	Des vérifications annuelles devraient inclure une inspection à la recherche de fuites d'air, le remplacement des vis ou des verrous, et le colmatage ou le remplacement des joints d'étanchéité. La fiabilité de l'armoire et des gaines est particulièrement importante du côté air d'alimentation, où la pression élevée peut forcer l'air vers l'extérieur par les petites fissures.
Nettoyer et régler les registres (chaque année)	Toutes les surfaces mobiles doivent être nettoyées et lubrifiées. Vérifier les points de consigne et les registres d'essai effectuant un cycle de fonctionnement complet.
Nettoyer les gaines d'air	Enlever la saleté présente dans les gaines d'air. Des gaines d'air sales sont également une indication de problèmes avec les filtres à air et d'autres composants CVCA.
Vérifier les unités de conditionnement d'air	S'assurer que l'espace autour des unités de conditionnement d'air extérieures est exempt de débris.
Économiseurs	Si les économiseurs ne fonctionnent pas, s'assurer que les dispositifs de commande et les registres ne sont pas brisés ou gelés.
Frigorigène	Vérifier et ajuster le niveau de frigorigène. Changer le frigorigène au besoin.

Climatiseurs individuels Remplacer les climatiseurs individuels inefficaces par des unités modulaires haute efficacité ou un système de conditionnement d'air central (avec un taux de rendement énergétique saisonnier (SEER) élevé).

La maintenance préventive n'inclut pas seulement des inspections régulières de l'équipement, mais également la sollicitation des commentaires des occupants du bâtiment, et le suivi des plaintes liées à des odeurs anormales et aux problèmes de santé émergents des occupants. Une méthode ou une procédure régulière au moyen de laquelle les occupants peuvent déposer des plaintes ou signaler des problèmes de confort (c.-à-d. trop froid ou trop chaud) ou de santé aide à cerner les problèmes pertinents du point de vue de la QAI et de l'efficacité énergétique du bâtiment.

4.2.3 Amélioration de l'équipement CVCA pour réduire les charges internes

En plus de la maintenance, il peut être nécessaire dans certains cas de changer les composants CVCA existants s'ils ne sont pas conformes aux codes et aux normes applicables en vue d'une QAI éconergétique. De tels changements ne sont pas aussi efficaces à court terme qu'un programme de maintenance, mais amélioreront en fin de compte la qualité et l'habitabilité du bâtiment, et peuvent présenter des avantages économiques à long terme. Des progrès considérables ont été accomplis dans le développement de l'équipement CVCA, qui est de plus en plus éconergétique et en mesure d'assurer une norme élevée de qualité de l'air intérieur grâce à un plus grand nombre de mécanismes et de produits de filtrage et de ventilation.

4.3 Maintenance et optimisation de la performance du bâtiment en matière d'énergie et de QAI – Le bâtiment physique et ses environs

L'amélioration de la performance en matière de QAI et d'efficacité énergétique dépend également de la maintenance du bâtiment lui-même. L'optimisation de l'intérieur et de l'extérieur du bâtiment pour en maximiser l'efficacité énergétique et le confort tout en maintenant une qualité de l'air intérieur élevée est recommandée. Cette optimisation devrait s'accompagner d'un programme de maintenance complet du bâtiment en vue de l'élimination des sources possibles de contaminants de la QAI (comme des produits de construction émettant des quantités élevées de COV) et de la mise en place de pratiques d'entretien adéquates. (Pour plus d'information sur ce sujet, consulter le Module 3 – Activités d'entretien, maintenance, réparation et rénovation.) Pour optimiser la performance des bâtiments existants en matière de QAI et d'efficacité énergétique, il faut considérer les aspects suivants :

- mettre en place stratégiquement des barrières construites (c.-à-d. clôtures, panneaux) et d'aménagement paysager (c.-à-d. arbres, plantes) pour diriger le débit d'air, atténuer les bruits, les odeurs et les gaz d'échappement des véhicules, créer de l'ombre et réduire les charges de conditionnement d'air;
- évaluer où les voitures sont autorisées à stationner par rapport aux ouvertures du bâtiment et aux prises d'air du système de ventilation mécanique. Si les gaz

- d'échappement des véhicules sont un problème, la mise en œuvre d'une politique interdisant de laisser tourner les moteurs au ralenti peut être envisagée;
- isoler les murs, les plafonds et les toits, y installer des pare-vapeur pour réduire les déperditions thermiques et l'humidité, et éliminer les ponts thermiques aux points d'ancrage du plancher et des murs intérieurs aux murs extérieurs. Il faut toutefois prendre les mesures nécessaires pour s'assurer que l'isolant et les pare-vapeur sont bien installés, car il a été démontré que certains types d'isolant contribuent à une mauvaise QAI lorsqu'ils sont installés incorrectement;
 - utiliser des ventilateurs pour faire circuler l'air dans le bâtiment, ce qui peut être avantageux pour les systèmes de ventilation tant naturelle que mécanique;
 - adapter les ouvertures existantes pour les rendre plus éconergétiques et insonorisantes ou les rendre plus accessibles et permettre ainsi aux occupants de mieux réguler le débit d'air;
 - remplacer les fenêtres à vitrage simple et les fenêtres non étanches par des fenêtres thermales/actionnables afin de réduire au minimum les pertes d'air de refroidissement et de chauffage, et de garantir que les fenêtres actionnables sont bien entretenues et peuvent être ouvertes et fermées facilement;
 - utiliser des fenêtres actionnables permettant une ventilation naturelle lorsque les conditions climatiques sont clémentes ou lorsque les conditions extérieures sont optimales. Confirmer que l'installation a été conçue pour la ventilation naturelle et que des stratégies de régulation sont disponibles en vue de l'exploitation de l'installation en mode ventilation naturelle;
 - utiliser des sas pour prévenir l'infiltration de polluants de l'air extérieur. Des portes isolées thermiquement et des garnitures d'étanchéité peuvent prévenir les déperditions thermiques et réduire l'entrée de contaminants aériens en provenance des garages de stationnement ou des voies de circulation achalandées;
 - utiliser des stratégies d'éclairage qui réduisent la dépendance du bâtiment par rapport aux systèmes mécaniques et réduisent la quantité de contaminants déplacés dans le système CVCA. Des détecteurs de mouvement et d'horaire d'occupation, des gradateurs photoélectriques qui mesurent la quantité de lumière dans une zone et commandent l'éclairage intérieur en conséquence, ou d'autres stratégies visant à allumer les lumières seulement lorsqu'elles sont nécessaires pourraient être utilisés pour réduire les gains thermiques associés à l'éclairage intérieur et réduire la charge du système CVCA;
 - utiliser des stratégies d'éclairage naturel comme la régulation de la lumière au moyen de persiennes, de matériaux de vitrage, de types d'ouvertures de fenêtre et de couvre-fenêtres;
 - utiliser des techniques qui aident à refléter et à absorber la lumière/chaaleur dans le bâtiment (c.-à-d. utilisation de couleurs et de peintures réfléchissantes) tout en veillant à ce que les produits ne génèrent pas des émissions élevées de COV;
 - utiliser des matériaux écologiques à faibles émissions et éconergétiques pour réduire la quantité de polluants ou de contaminants introduits dans le bâtiment pendant les travaux de modernisation et de rénovation;

- ajuster les horaires d'entretien de manière à réduire au minimum l'utilisation du système CVCA.

4.4 Maximisation d'une QAI éconergétique – Suivi et évaluation continue de la performance

En plus de la maintenance préventive et régulière du bâtiment et de ses systèmes, les gestionnaires et les propriétaires de bâtiments devraient élaborer un plan de gestion de l'énergie et de la QAI leur permettant de suivre la QAI et l'efficacité énergétique du bâtiment et de ses systèmes dans le temps. Le plan de gestion de l'énergie et de la QAI documente comment maintenir et améliorer la consommation d'énergie du bâtiment, et établit des stratégies de réduction de la consommation d'énergie tout en améliorant ou maintenant la QAI du bâtiment. Un plan de gestion de l'énergie et de la QAI est un exemple d'une technique de suivi et d'évaluation continus de la performance. Ce plan aide les exploitants, les gestionnaires et les propriétaires de bâtiment à suivre, modifier et mieux comprendre comment améliorer ou maintenir un environnement intérieur de haute qualité qui soit sain, éconergétique et confortable. Il peut également aider à déterminer, documenter et gérer les problèmes de QAI et d'efficacité énergétique possibles, et aider à établir l'ordre de priorité des budgets pour la maintenance et les modifications futures (consulter le Module 4 – Reconnaître et régler les problèmes de QAI pour de l'information sur d'autres méthodes de suivi et d'évaluation). Il est estimé qu'un suivi et une analyse continus peuvent augmenter l'efficacité énergétique d'un bâtiment de jusqu'à 20 %⁴. Pour créer un plan de gestion de l'énergie et de la QAI, procéder comme suit⁵.

1) Désigner un gestionnaire de l'énergie

Le propriétaire du bâtiment devrait désigner une ou des personnes qui assumeront le rôle de gestionnaire de l'énergie pour le bâtiment. Le gestionnaire de l'énergie est responsable de veiller à ce que la consommation d'énergie dans le bâtiment soit réduite au minimum sans compromettre la qualité de l'air intérieur. Le gestionnaire de l'énergie peut être le propriétaire du bâtiment, un employé (comme un exploitant ou un gestionnaire de bâtiments), ou une firme ou un consultant embauché par le propriétaire. Le gestionnaire de l'énergie devrait avoir les responsabilités suivantes :

- mettre en œuvre les résultats des audits de la QAI et de l'énergie, ainsi que les mesures mises de l'avant dans le plan de gestion de l'énergie et de la QAI;

⁴ Granderson, J., M. A. Piette, B. Rosenblum, L. Hu et coll. *Energy Information Handbook: Applications for Energy Efficient Buildings Operations*, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-5272E, 2011.

⁵ Cette information a été modifiée et est tirée de la norme ASHRAE 100-2006.

- évaluer l'efficacité énergétique et la QAI de la nouvelle construction, de l'agrandissement, du réaménagement ou des nouveaux achats d'équipement proposés;
- examiner les procédures d'exploitation et de maintenance du bâtiment en vue d'une gestion optimale de l'énergie et de la QAI;
- adhérer aux codes du bâtiment et aux normes en matière de gestion de l'énergie et de QAI;
- faire un rapport régulièrement à la direction, aux parties intéressées et aux occupants.

2) Déterminer si des cibles de consommation d'énergie ou de QAI ont été établies pour le bâtiment

Le gestionnaire de l'énergie doit déterminer s'il existe pour le bâtiment des cibles de QAI ou de consommation d'énergie basées sur des évaluations/audits antérieurs ou élaborées en liaison avec les pratiques exemplaires, les normes et les codes existants. Les bâtiments sans cibles de consommation d'énergie ou de QAI devraient faire l'objet d'un audit en vue de l'élaboration de telles cibles. L'audit devrait inclure le site, l'enveloppe, l'éclairage, le système CVCA, les réseaux de distribution d'eau sanitaire, la réfrigération, l'équipement de production d'électricité, l'alimentation en électricité, les unités de distribution d'électricité, les systèmes de déplacement des personnes et d'autres systèmes qui peuvent influencer sur la QAI et l'efficacité énergétique du bâtiment. Un vérificateur de la gestion de l'énergie qualifié ou une firme doivent être embauchés à cette fin et un rapport d'audit doit être généré. Il peut être nécessaire d'embaucher tant un vérificateur de la gestion de l'énergie qu'un vérificateur de la gestion de la QAI, et de combiner les résultats d'audit si la personne/firme n'est pas qualifiée pour les deux audits ou experte dans les deux domaines.

3) Élaborer un plan de gestion de l'énergie et de la QAI, et recueillir et évaluer l'information sur la QAI et l'efficacité énergétique du bâtiment

Un plan de gestion de l'énergie et de la QAI documente clairement comment maintenir et améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment, et établit des stratégies de réduction de la consommation d'énergie tout en tenant compte de la qualité de l'air intérieur. Le plan de gestion de l'énergie et de la QAI doit être revu chaque année. Douze mois de données consécutives sur les aspects de la QAI étudiés pour le bâtiment ainsi que les données sur la consommation énergétique nette doivent être compilés (y compris l'énergie achetée et exportée, les factures de service public ou de livraison d'énergie, les lectures des compteurs d'énergie, et les données des détecteurs et des commandes de QAI). L'information sur le bâtiment peut également être recueillie à partir des formulaires d'exploitation et de maintenance, ainsi qu'auprès du personnel de maintenance et d'entretien, des techniciens en réparation et des occupants du bâtiment (par l'entremise d'inspections générales et périodiques). Un plan de gestion de l'énergie et de la QAI doit comporter les éléments suivants :

- un plan d'exploitation et de maintenance qui inclut un examen des systèmes suivants : enveloppe du bâtiment et site, réseaux d'eau chaude sanitaire, système

- CVCA, systèmes de réfrigération, systèmes d'éclairage, systèmes de commande, systèmes de distribution et de génération d'électricité;
- un système de comptabilisation de l'énergie pour consigner la consommation énergétique et la QAI au cours de l'année initiale de certification du bâtiment;
 - des mesures de base de la QAI du bâtiment et de l'intensité d'utilisation de l'énergie (IUE);
 - des mises à jour annuelles sur la QAI/IUE du bâtiment et une comparaison par rapport aux données de base annuelles sur la QAI/IUE du bâtiment en vue de l'établissement ou de l'évaluation de la tendance en matière de performance dans le temps;
 - de la documentation sur tout changement à l'occupation, aux heures d'exploitation, aux taux de production et à l'équipement alimenté en énergie qui serait survenu au cours de l'année et aurait entraîné des changements dans les mesures annuelles de la QAI/IUE, par rapport aux données de base;
 - de la documentation sur les objectifs de performance annuels du bâtiment en matière d'énergie et de QAI. Pour les bâtiments pour lesquels des cibles ont été définies, les cibles seront utilisées comme objectif. Pour les bâtiments pour lequel QAI ou le vérificateur de la gestion de l'énergie fixeront une cible;
 - des rapports d'audit énergétique, et les mesures de QAI et d'efficacité énergétique recommandées;
 - une liste de l'équipement à remplacer ou réparer;
 - une liste des coordonnées des fournisseurs d'équipement, des représentants locaux des fabricants et des vérificateurs de la gestion de l'énergie; s'assurer que tout l'équipement est conforme aux pratiques exemplaires et aux normes relatives à la QAI et à l'efficacité énergétique;
 - de la documentation (listes de contrôle) sur les horaires de fonctionnement et la densité de puissance de l'éclairage qui indique les économies découlant des mesures d'efficacité énergétique mises en oeuvre.

4) Évaluer les résultats du plan de gestion de l'énergie et de la QAI en vue de les intégrer aux données sur le bâtiment, de mettre en œuvre les changements et les mesures d'efficacité énergétique, et d'aider à la prise de décisions futures relatives au bâtiment.

Les résultats d'un plan de gestion de l'énergie et de la QAI devraient être les suivants :

- résultats intégrés au plan d'amélioration des immobilisations pour le bâtiment en vue d'une évaluation des coûts et des avantages liés à la possession d'équipements nouveaux et existants, et de la prise de décisions éclairées touchant les dépenses en capital;
- résultats utilisés pour établir les priorités continues en matière de QAI et d'efficacité énergétique. Un plan écrit de gestion de l'énergie devrait dresser l'ordre de priorité des mesures d'efficacité énergétique et spécifier un calendrier de mise en œuvre;

- résultats utilisés pour créer un plan de mise en œuvre si le bâtiment ne satisfait pas aux normes et aux cibles établies. Le plan devrait inclure des objectifs et des mesures d'efficacité énergétique spécifiques qui permettront au bâtiment de se conformer aux pratiques exemplaires, aux normes et aux cibles établies. Les cibles devraient faire l'objet d'un suivi jusqu'à ce qu'elles aient été atteintes pendant un minimum d'un an;
- résultats utilisés pour créer un plan de formation écrit à l'intention du personnel du bâtiment relativement à la QAI et aux mesures d'efficacité énergétique;
- résultats utilisés pour évaluer l'efficacité et l'utilité du plan lui-même, et pour apporter les changements au plan qui sont nécessaires.

5. Étapes suivantes – Incorporation d'une QAI éconergétique au plan d'un bâtiment existant

Le présent module, en liaison avec les normes, les codes et les programmes mentionnés au tableau 3.1, met de l'avant un certain nombre de stratégies utiles que les gestionnaires, les exploitants et les propriétaires de bâtiments peuvent prendre en considération en vue d'une efficacité énergétique et d'une QAI améliorées du bâtiment :

- des stratégies de ventilation hybride optimisent l'utilisation des systèmes de ventilation tant naturelle que mécanique pour assurer l'efficacité énergétique et la QAI;
- il existe de nombreuses façons d'améliorer le système mécanique d'alimentation en air intérieur en ayant recours aux progrès technologiques et physiques réalisés en matière de composants de système ou en raccordant le système CVCA à des technologies d'énergie renouvelable, si possible;
- des économiseurs, des systèmes de récupération de l'énergie, et des filtres et des détecteurs/commandes de haute qualité peuvent servir à maximiser l'efficacité CVCA dans des conditions de charge partielle;
- il existe de nombreuses options possibles en vue de l'adaptation des systèmes d'alimentation en air aux besoins du bâtiment et de ses occupants;
- pour optimiser les systèmes d'alimentation en air en vue d'assurer la qualité de l'air intérieur et l'efficacité énergétique, les éléments suivants sont requis :
 - maintenance préventive et nettoyage du bâtiment lui-même et de son système CVCA;
 - éducation/information et formation des gestionnaires, des exploitants, du personnel et des occupants du bâtiment;
 - stratégie d'ensemble visant à réduire au minimum l'entrée et la rétention des contaminants et des polluants dans le bâtiment;
 - considération du site du bâtiment et de l'orientation de celui-ci par rapport aux émissions, aux bruits et à l'aménagement paysager artificiel/naturel.

Toutes ces considérations devraient être incorporées aux documents de performance du bâtiment, comme le profil de QAI et les rapports d'audit de QAI.

5.1 Adaptation des profils de QAI et des processus d'audit

Les modules précédents recommandaient l'élaboration d'un profil de QAI et un audit du bâtiment. Un profil de QAI est une description écrite de la structure, de la fonction et de l'occupation du bâtiment, ainsi que de l'impact de ces aspects sur la qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment. Le profil fournit de l'information de base sur l'état existant de la qualité de l'air dans le bâtiment, à des fins de comparaison possible. Le profil de QAI devrait être un ensemble organisé d'enregistrements, de matériels et de documents que l'on peut consulter lorsque l'on planifie des rénovations ou que l'on veut corriger des problèmes dans le bâtiment. L'information nécessaire à l'établissement d'un profil de QAI est similaire à l'information recueillie en vue de la résolution d'autres problèmes de qualité de l'air intérieur (consulter le Module 4 – Reconnaître et régler les problèmes de QAI pour plus d'information), mais porte sur le bâtiment dans son ensemble plutôt que sur des secteurs spécifiques où des problèmes ont été notés.

Un audit de QAI utilise l'information de base tirée du profil de QAI et d'autres normes, codes et pratiques exemplaires pour établir des comparaisons avec les données sur la QAI du bâtiment recueillies de façon régulière. On trouvera au tableau 3.1 et à l'annexe A une liste de différentes normes et pratiques exemplaires de référence. Différents organismes et ministères ont élaboré des formulaires et des processus pour guider les gestionnaires et les exploitants de bâtiments dans l'exécution d'un audit de QAI. Il est recommandé que les profils et les audits de QAI incluent également des critères d'audit énergétique, ainsi que des caractéristiques/mesures qui combinent de façon spécifique l'efficacité énergétique et la performance en matière de QAI. On trouvera à l'annexe A un modèle de liste de contrôle pour les audits de QAI.

5.2 Adaptation d'autres stratégies liées au bâtiment

D'autres processus et stratégies liés au cycle de vie du bâtiment devront être adaptés de manière à inclure des sections sur une QAI éconergétique. Ces processus et stratégies sont les suivants :

- incorporation d'études de faisabilité sur des systèmes de ventilation hybride ou de nouvelles technologies éconergétiques en matière de CVCA ou d'énergies renouvelables (comme les planchers chauffants, les murs solaires/capteurs solaires aérauliques et les options de géothermie);
- suivi des effets des changements d'occupation et de l'aménagement de l'espace sur l'efficacité énergétique et la qualité de l'air intérieur du bâtiment;
- mise à jour des budgets d'exploitation pour tenir compte des composants éconergétiques qui doivent être incorporés au système CVCA existant, comme des économiseurs, des filtres haute efficacité, des systèmes de récupération de chaleur, etc.;
- mise à jour des budgets de maintenance pour tenir compte des activités de maintenance préventive et régulière;

- modification de l'établissement des coûts du cycle de vie pour tenir compte des rénovations, des agrandissements ou des nouveaux projets éconergétiques, parallèlement aux rajustements pour les économies de coût et les budgets de maintenance préventive du système CVCA et du bâtiment;
- planification d'améliorations à mesure que de nouveaux équipements utilisant de l'énergie renouvelable ou de nouveaux progrès dans les technologies de nettoyage et de filtrage de l'air intérieur deviennent disponibles;
- élaboration de nouveaux paramètres s'ils sont nécessaires pour l'efficacité de l'équipement, l'efficacité en fonction des coûts et les dépenses en capital;
- investigation de sources possibles de financement par l'entremise d'initiatives de financement vert, de subventions privées ou publiques, de programmes d'assistance, de mesures incitatives et de concours.

5.3 Communiquer avec les occupants du bâtiment

L'une des principales raisons pour lesquelles les systèmes de bâtiment ont évolué vers une plus grande adaptation est de permettre aux occupants du bâtiment d'avoir la possibilité de réguler et de changer leur environnement en vue d'un confort, d'une productivité, d'une santé et d'un sentiment général de bien-être accrus. Ceci signifie cependant que les occupants du bâtiment ont besoin d'éducation et de formation sur les pratiques exemplaires qui maximisent la qualité de l'air intérieur et le confort intérieur sans compromettre l'efficacité énergétique ni la fonctionnalité des systèmes mécaniques et de distribution d'air du bâtiment. Les occupants ont également besoin de formation sur l'équipement utilisé (c.-à-d. panneaux de commande, thermostats) de façon qu'ils ne compromettent pas le fonctionnement des systèmes du bâtiment (le Module 4 – Reconnaître et régler les problèmes de QAI présente plus de stratégies sur le traitement des plaintes et de la rétroaction des occupants).

Le non-maintien d'une qualité d'air intérieur acceptable peut avoir des conséquences majeures sur la santé des occupants, et entraîner une productivité réduite, de l'absentéisme, une détérioration accélérée du bâtiment et de sa réputation, et des relations propriétaire/locataires ou employeur/employés tendues. Toutes ces conséquences soulignent l'importance d'un suivi et d'une évaluation continus de la performance des bâtiments pour aider à atténuer les problèmes possibles pour les exploitants, les gestionnaires et les propriétaires de bâtiments.

6. Références et autres sources d'information

ASHRAE. *Indoor Air Quality Guide, Best Practices for Design, Construction and Commissioning*, 2009.

<http://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/indoor-air-quality-guide>

ATP. *Indoor Air Quality Solutions for Stationary Engineers* (en partenariat avec l'International Union of Operating Engineers), 2009. <http://www.atplearning.com/Indoor-Air-Quality-Solutions-for-Stationary-EngineersP343.aspx>

EPA. *IAQ in Large and Commercial Buildings, IAQ Building Education and Assessment Model (I-BEAM)*, 2010.

<http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/i-beam/index.html>

EPA. *Building Air Quality: A Guide for Building Owners and Facility Managers*, 1995.

<http://www.epa.gov/iaq>

EPA. *Energy Costs and IAQ Performance of Ventilation Systems and Controls*, 2000.

http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/energy_cost_and_iaq/project_report2.pdf

EPEC. *Guidance on Energy Efficiency in Public Buildings*, 2013.

http://www.eib.org/epec/resources/epec_guidance_ee_public_buildings_en.pdf

Federal Energy Management Program. *Low Energy Building Design Guidelines*, 2001.

<http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/25807.pdf>

Hall, L. *Practical Ways Building Air Designers Address Indoor Air Quality Issues*, Building Ecology Research Group, 1996-2013.

http://www.buildingecology.net/index_files/publications/IAQPracticalWays.pdf

Santé Canada. *Guide technique pour l'évaluation de la qualité de l'air dans les immeubles à bureaux*, 1995.

<http://publications.gc.ca/site/eng/40449/publication.html> (bientôt discontinué)

Lee, H., C. Ruppert et W.A. Porter. *Energy Efficient Homes: Indoor Air Quality and Energy*, 2010.

<http://edis.ifas.ufl.edu/fy1044>

LEED. *Guide de référence LEED sur la conception et la construction de bâtiments durables*, 2009 (mis à jour en 2014).

<http://www.cagbc.org/cagbc/Store/storeCategories/GuidedeLEED.aspx>

Mari-Liis, M. « Demand Controlled Ventilation (DCV) for Better IAQ and Energy Efficiency » in *HVAC Journal Online*, 2011.

<http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2011/022011/demandcontrolled-ventilation-dcv-for-better-iaq-and-energy-efficiency/>

CNRC. *Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada*, 2011. http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/publications/centre_codes/2011_code_national_energie_batiments.html

NHBC. *Indoor Air Quality in Highly Energy Efficient Homes – A Review*, 2009-2010.
<http://europeanparliamentgypsumforum.eu/wp-content/uploads/2012/04/Indoor-airquality-in-highly-energy-efficient-homes.pdf>

RNCAN. Documents sur l'efficacité énergétique pour les bâtiments, 2011.
<http://www.rncan.gc.ca/energie/efficacite>

Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. *Guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement*, 2000.
<http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/biens-property/gd-env-cnstrctn/index-fra.html>

TSI. *A Practical Guide to Indoor Air Quality Investigations*, 2010.
http://www.fss.txstate.edu/ehsrm/programs/occupational/iaq/contentParagraph/05/document/IAQ_Handbook.pdf

Walker, A., National Renewable Energy Laboratory. *Natural Ventilation*, Washington State University Energy Program. Energy Efficiency and Indoor Air Quality, 2011.
<http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/wsuceep00-303/wsuceep00-303.pdf>

Yu, C., et D. Crump. « Indoor Environmental Quality – Standards for Protection of Occupants' Safety », *Health and Environment Indoor and Built Environment*, vol. 19, n° 5, 2010, p. 499-502.