



Directives sur les réaménagements énergétiques majeurs

Bâtiments commerciaux et institutionnels



IMMEUBLES
DE BUREAUX



Directives sur les réaménagements énergétiques majeurs

Bâtiments commerciaux
et institutionnels

IMMEUBLES DE BUREAUX

Also available in English under the title: Major Energy Retrofit Guidelines for Office Buildings

Pour obtenir des renseignements sur les droits de reproduction, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à nrcan.copyrightdroitdauteur.nrcan@canada.ca.

Ce rapport est disponible en ligne à l'adresse suivante :
nrcan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/eebe/renovation/4112.

N° de cat. M144-275/3-2016F-PDF
ISSN 978-0-660-06729-2

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada
Engager les Canadiens sur la voie de l'efficacité énergétique à la maison, au travail et sur la route

REMERCIEMENTS

Ces directives sont une adaptation du document *ENERGY STAR Building Upgrade Manual* de l'Environmental Protection Agency des États-Unis. Ressources naturelles Canada remercie sincèrement tous ceux et celles qui ont contribué à l'élaboration de ces documents.

AVERTISSEMENT

Sa Majesté n'est pas responsable de l'exactitude et de l'intégralité des renseignements contenus dans le matériel reproduit. Elle doit en tout temps être indemnisée et tenue exempte du paiement de toute réclamation qui découle de la négligence ou d'un autre manquement dans l'utilisation des renseignements contenus dans cette publication ou dans ce produit.

TABLE DES MATIÈRES

POSSIBILITÉS DE RÉAMÉNAGEMENTS ÉNERGÉTIQUES DANS LES IMMEUBLES DE BUREAUX	1
Aperçu des immeubles de bureaux	1
Appel à l'action	1
Possibilités et défis	2
Profil de la consommation d'énergie.....	4
Organisation des mesures du projet	6
Commissioning des bâtiments existants	7
Améliorations de l'éclairage	16
Réaménagements par remplacement direct	17
Réaménagements par nouvelle conception.....	18
Réduction des charges supplémentaires.....	25
Charges électriques et équipement	25
Enveloppe.....	29
Améliorations des systèmes de distribution de l'air.....	40
Systèmes à débit d'air constant par rapport aux systèmes à débit d'air variable	40
Confort et qualité de l'air.....	41
Réaménagements	42
Redimensionnement et remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement	47
Systèmes de chauffage centraux	48
Systèmes de refroidissement centraux.....	56
Unités de toit.....	62
Eau chaude domestique	67
MISSISSAUGA EXECUTIVE CENTRE : ÉTUDE DE CAS	70
MON INSTALLATION	74

Figures

Figure 1. Consommation d'énergie commerciale et institutionnelle par sous-secteur	2
Figure 2. Consommation d'énergie par source d'énergie pour le secteur C/I	4
Figure 3. Consommation d'énergie par utilisation finale pour le secteur C/I.....	4
Figure 4. Distribution de l'intensité énergétique du site pour un échantillon d'immeubles de bureaux canadiens	5
Figure 5. Incidence énergétique de la température de l'eau du condensateur....	13
Figure 6. Diagramme simplifié d'un protocole ouvert pour un système de contrôle automatique de bâtiments	14
Figure 7. Tablettes réfléchissantes	23
Figure 8. Niveaux d'efficacité des appareils standards en comparaison des appareils écoénergétiques de la NEMA	27
Figure 9. Transfert thermique par l'enveloppe du bâtiment	29
Figure 10. Imagerie infrarouge montrant une fuite autour d'une fenêtre.....	31
Figure 11. Caractéristiques d'une fenêtre écoénergétique	36
Figure 12. Rendement thermique des gaz de remplissage	37
Figure 13. Température de l'eau de retour et incidence sur l'efficacité de la chaudière	53
Figure 14. Centrale de refroidissement	57
Figure 15. Configuration type d'une unité de toit	63

Tableaux

Tableau 1. Recommandations en matière d'éclairage dans les immeubles de bureaux	19
Tableau 2. Cotes d'efficacité de chaudières à gaz.....	49
Tableau 3. Évolution des normes d'efficacité des unités de toit	63
Tableau 4. Améliorations des cotes ENERGY STAR.....	72
Tableau 5. Financement des réaménagements.....	72

POSSIBILITÉS DE RÉAMÉNAGEMENTS ÉNERGÉTIQUES DANS LES IMMEUBLES DE BUREAUX

1 PARTIE

Le Module sur les immeubles de bureaux complète l'approche de réaménagements énergétiques éprouvée décrite dans le Module sur les principes. Dans ce module, qui devrait être considéré comme un document d'accompagnement du Module sur les principes, il est question des stratégies, des priorités et des possibilités propres aux immeubles de bureaux.

Le Module sur les immeubles de bureaux comprend trois parties :

- **Possibilités de réaménagements énergétiques dans les immeubles de bureaux :** Cette partie fournit un aperçu des immeubles de bureaux canadiens. Les sous-sections présentent de l'information de base sur chaque phase de réaménagement et sur les principales mesures de réaménagement, surtout dans les petits et les moyens immeubles de bureaux.
- **Étude de cas :** L'étude de cas présente un projet de réaménagement énergétique majeur réussi.
- **Mon installation :** Cette partie comporte un questionnaire sur les possibilités d'efficacité énergétique pour vous aider à définir les possibilités qui s'appliquent à votre installation.

Aperçu des immeubles de bureaux

Appel à l'action

Les bâtiments commerciaux et institutionnels représentent environ un huitième de la consommation d'énergie au Canada¹. Au cours des 20 prochaines années, le parc de bâtiments commerciaux devrait connaître une expansion de plus de 60 %, et on s'attend à ce que 40 % des bâtiments existants soient réaménagés².

DIRECTIVES SUR LES
RÉAMÉNAGEMENTS
ÉNERGÉTIQUES
MAJEURS : PRINCIPES

MODULE
RELATIF AUX
IMMEUBLES
DE BUREAUX

Les immeubles de bureaux sont des espaces utilisés à des fins de travail de bureau général ou à des fins administratives ou professionnelles. La superficie comprend toutes les fonctions de soutien, y compris les cuisines utilisées par le personnel, les halls, les atriums, les salles de conférences et les auditoriums, les aires d'entreposage et les escaliers.

1 Ressources naturelles Canada. 2013. *Guide de données sur la consommation d'énergie, 1990 à 2010*.

2 Commission de coopération environnementale. 2008. *Scénarios énergétiques liés au bâtiment écologique d'ici 2030*.

1 PARTIE



Exemple :

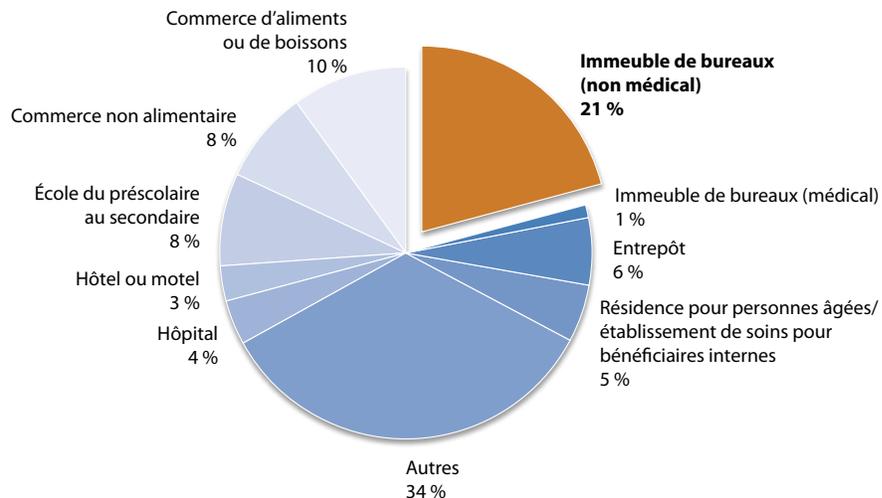
Bentall Kennedy et RBC
Mississauga (Ontario)

Les besoins des locataires étaient à l'avant-plan lorsque Bentall Kennedy et RBC ont installé un système d'interface d'éclairage adressable numérique (DALI pour l'anglais *digital addressable lighting interface*). Pour minimiser les répercussions sur les locataires, les équipes opérationnelles ont coordonné les calendriers des entrepreneurs et tenu des réunions périodiques avec les responsables d'étages pour leur fournir de l'information. Le système DALI contrôle et ajuste la puissance lumineuse de chaque luminaire en fonction de l'occupation, de la lumière naturelle et des heures d'exploitation, offrant ainsi un degré élevé de flexibilité aux locataires de l'immeuble, qui travaillent à des heures variées.

« Le partage d'information continu avec les occupants du bâtiment a été un élément clé du succès du projet. »

Source : CivicAction Alliance,
Race to Reduce

Figure 1. Consommation d'énergie commerciale et institutionnelle par sous-secteur



Source des données : Ressources naturelles Canada. 2012. *Enquête sur l'utilisation commerciale et institutionnelle d'énergie – Bâtiments 2009 : (RNCAN) Rapport statistique détaillé.*

La figure 1 montre qu'au sein du secteur commercial et institutionnel, les immeubles de bureaux sont le plus important sous-secteur sur le plan de la consommation d'énergie, représentant plus du cinquième de celle-ci. Étant donné que le parc de bâtiments prend de l'âge, il existe une immense possibilité de procéder à des réaménagements énergétiques majeurs, qui permettront d'améliorer le rendement énergétique des immeubles de bureaux du pays.

Par la mise en œuvre d'une stratégie éprouvée de réaménagements énergétiques majeurs, qui commence par l'analyse comparative à l'aide d'ENERGY STAR Portfolio Manager, vous pouvez avoir un effet positif sur les résultats liés à vos bâtiments.

Possibilités et défis

Les avantages financiers découlant de bâtiments plus écoénergétiques sont très bien connus. Bon nombre d'organisations ont investi dans l'efficacité énergétique pour améliorer le milieu de travail et la productivité des employés, améliorer le rendement du bâtiment et le rendement financier, réduire les coûts énergétiques et démontrer leur engagement en matière de durabilité.

Possibilités

Les économies d'énergie figurent parmi les principaux avantages d'un projet de réaménagement énergétique majeur. La consommation d'énergie représente 30 % des coûts d'un immeuble de bureaux type et constitue la plus importante dépense d'exploitation d'une propriété. Les réaménagements énergétiques permettent d'améliorer le rendement opérationnel. Les économies d'énergie peuvent entraîner un revenu net d'exploitation plus élevé et une valeur accrue du bâtiment. Des coûts d'exploitation plus bas peuvent aussi rendre les prix de location plus compétitifs, améliorant ainsi la position concurrentielle de votre bâtiment sur le marché de la location. Une consommation d'énergie diminuée a également pour effet de limiter votre vulnérabilité aux fluctuations des prix de l'énergie, en plus de réduire vos émissions de gaz à effet de serre.

1 PARTIE

Outre les économies d'énergie, un avantage remarquable des réaménagements énergétiques majeurs est l'amélioration de l'environnement intérieur. Un environnement intérieur de haute qualité, caractérisé notamment par l'accès à la lumière naturelle et une qualité de l'air intérieur améliorée, procure un meilleur confort aux occupants, sans parler d'une santé et d'une productivité accrues, et se traduit généralement par des taux d'occupation plus élevés³. Les bâtiments écoénergétiques dotés d'environnements intérieurs de haute qualité peuvent aussi obtenir une certification en matière de bâtiments écologiques, qui reconnaît les bâtiments à haute performance et soucieux de l'environnement, valorisés par les investisseurs et les locataires du marché immobilier.

Enfin, l'analyse comparative du rendement énergétique de votre bâtiment présente une possibilité en soi. En effectuant une analyse comparative au début d'un processus de réaménagement, et à nouveau durant les phases d'amélioration, vous pourrez mesurer les améliorations relatives, justifier les dépenses et établir une nouvelle base de référence pour vous aider à surveiller le rendement futur.

Défis

Les accords de location communs peuvent poser des problèmes à la mise en œuvre de réaménagements énergétiques, étant donné l'écart entre celui qui paye pour les réaménagements et celui qui en retire les avantages. Un tel accord entre le propriétaire et le locataire est souvent appelé « incitatif partagé ». Par conséquent, lorsque vient le moment de financer des réaménagements énergétiques, les propriétaires et les locataires de bâtiments perçoivent souvent le processus de négociation comme une situation gagnants-perdants, où une partie paye, et l'autre retire les avantages. Un sondage mené auprès des décideurs responsables de la consommation d'énergie dans les bâtiments, publié par l'Institute for Building Efficiency en 2012⁴, a révélé que les incitatifs partagés étaient un des obstacles à la réalisation d'économies d'énergie dans les bâtiments.

Les baux écologiques (parfois appelés baux haute efficacité ou encore baux écoénergétiques) sont un moyen de surmonter cet obstacle. Les propriétaires et les locataires peuvent s'entendre sur des modalités de location qui prescrivent le partage des avantages associés aux factures de services publics moins élevées, ce qui donne aux propriétaires un incitatif pour investir, tout en offrant aux locataires la possibilité de réaliser des économies.

Vous devez définir les éléments déclencheurs des réaménagements majeurs uniques à votre installation afin d'optimiser le calendrier de vos projets et d'incorporer l'efficacité énergétique dans votre plan d'immobilisations. Pour en savoir plus, consultez la section 2 du Module sur les principes.

Vous devriez aussi envisager de satisfaire, ou idéalement de surpasser, les exigences de rendement minimales énoncées dans la plus récente version du *Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada* (CNÉB).

3 Pour un résumé de la recherche récente, consultez le document préparé par le Rocky Mountain Institute, *How to Calculate and Present Deep Retrofit Value: A Guide for Owner-Occupants*, p. 64. rmi.org/retrofit_depot_deepretrofitvalue (en anglais seulement).

4 Institute for Building Efficiency. buildingefficiencyinitiative.org/resources/2012-eei-global-results-presentation (en anglais seulement).

1 PARTIE

Deux organisations ont élaboré des guides et des modèles pour les baux écologiques :

- L'Association des biens immobiliers du Canada (RealPAC) a préparé *Green Lease Guide for Commercial Tenants*, disponible sur son site Web : realpac.ca/?page=GreenLeaseGuidefo (en anglais seulement)
- La Building Owners and Managers Association (BOMA) a préparé *Commercial Lease: Guide to Sustainable and Energy Efficient Leasing for High-Performance Buildings*, disponible à la vente sur son site Web : store.boma.org/shopping_product_detail.asp?pid=52168 (en anglais seulement)

Une autre problématique importante a trait aux répercussions sur les locataires de l'immeuble. À moins que le bâtiment n'ait été évacué, les locataires seront touchés par tout changement et devraient, par conséquent, participer au processus de planification. La perte de productivité en conséquence du programme de réaménagement diminuera le rendement du capital investi, de là l'importance de bien planifier les activités et de choisir le bon moment.

Profil de la consommation d'énergie

Lorsque vous planifiez un projet de réaménagement majeur, vous devez considérer le profil de la consommation d'énergie d'un immeuble de bureaux canadien type. Même si les profils de consommation d'énergie particuliers varieraient, l'exemple ci-dessous peut servir à donner une indication générale de votre consommation d'énergie.

Remarque : 1 gigajoule (GJ) équivaut à 278 kilowattheures équivalents (kWh éq.), ou le contenu énergétique d'environ 27 mètres cubes (m³) de gaz naturel.

Figure 2. Consommation d'énergie par source d'énergie pour le secteur C/I

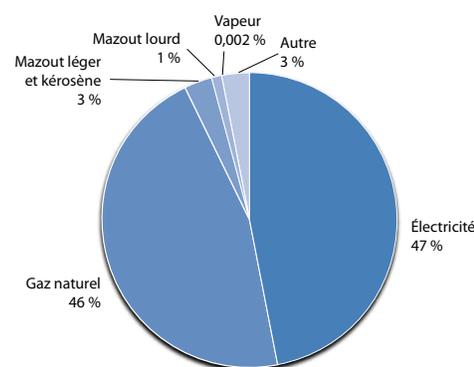
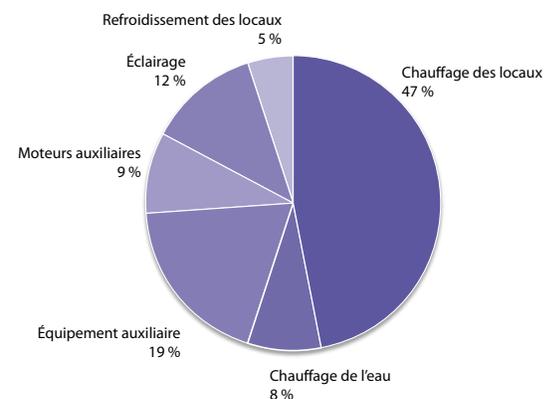


Figure 3. Consommation d'énergie par utilisation finale pour le secteur C/I



Source des données : RNCAN. 2011. Base de données complète sur la consommation d'énergie – secteur commercial et institutionnel.

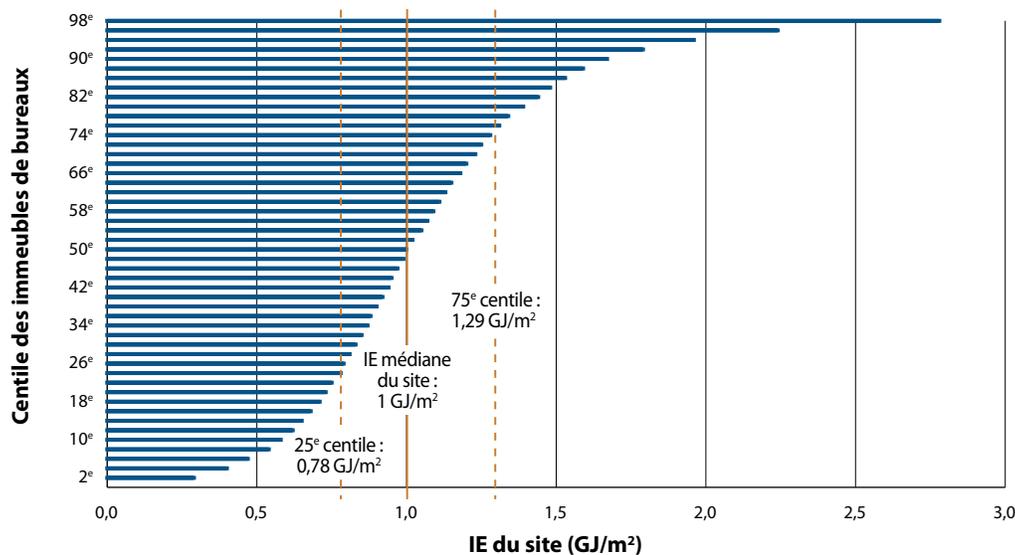
La figure 2 montre la répartition de la consommation d'énergie par source d'énergie. Le gaz naturel et l'électricité se partagent sensiblement des parts égales relativement aux besoins d'énergie d'une installation commerciale ou institutionnelle type. La figure 3 montre la répartition de la consommation par utilisation finale. Le chauffage des locaux représente près de la moitié de la consommation d'énergie d'un immeuble de bureaux, suivi par l'équipement auxiliaire (charges des prises électriques pour les ordinateurs et les serveurs, etc.).

1 PARTIE

L'intensité énergétique (IE) des immeubles de bureaux peut varier considérablement et est influencée par les conditions météorologiques et des caractéristiques de fonctionnement spécifiques, comme les heures d'exploitation hebdomadaires, le nombre de travailleurs, le nombre d'ordinateurs et de serveurs et le pourcentage de la superficie qui est chauffée et refroidie.

La figure 4 présente la distribution générale de l'IE normalisée d'un échantillon d'immeubles de bureaux canadiens.

Figure 4. Distribution de l'intensité énergétique du site pour un échantillon d'immeubles de bureaux canadiens



Source : ENERGY STAR Portfolio Manager 2016.

La ligne verticale solide montre que l'IE médiane du site pour les immeubles de bureaux entrés dans ENERGY STAR Portfolio Manager est de 1 GJ/m^2 ($25,81 \text{ kWh éq./pi. ca.}$)⁵. Les bâtiments situés dans le 25^e percentile de cet ensemble de données ont des IE inférieures à $0,78 \text{ GJ/m}^2$ ($20,13 \text{ kWh éq./pi. ca.}$), et ceux qui sont situés au-delà du 75^e percentile ont des IE supérieures à $1,29 \text{ GJ/m}^2$ ($33,29 \text{ kWh éq./pi. ca.}$). L'IE médiane nationale selon *l'Enquête sur l'utilisation commerciale et institutionnelle d'énergie de 2009* est de $0,9 \text{ GJ/m}^2$ ($23,2 \text{ kWh éq./pi. ca.}$).

Les propriétaires de bâtiments et les gestionnaires d'installations sont encouragés à effectuer l'analyse comparative de leur rendement énergétique ainsi que leur suivi à l'aide d'ENERGY STAR Portfolio Manager, l'outil d'analyse comparative de l'énergie le plus complet et le seul outil normalisé au Canada pour les immeubles de bureaux commerciaux. L'analyse comparative vous permet de comparer votre consommation d'énergie courante par rapport au rendement passé ainsi que par

Pour de nombreux types de bâtiments commerciaux et institutionnels, dont les immeubles de bureaux, ENERGY STAR Portfolio Manager attribue une cote ENERGY STAR sur une échelle de rendement énergétique de 1 à 100, par rapport aux bâtiments similaires.

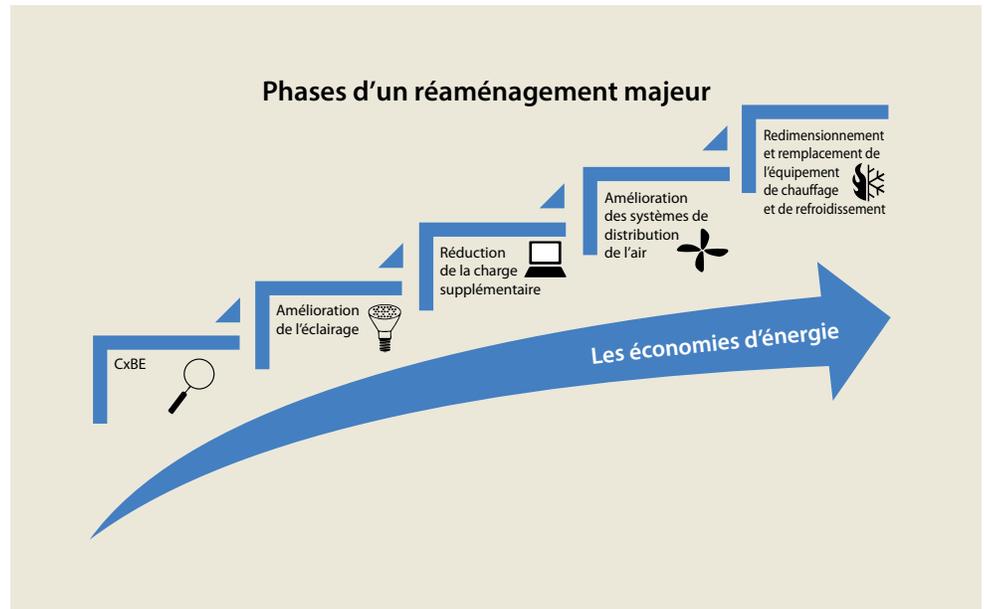
Une cote ENERGY STAR fournit un aperçu du rendement énergétique de votre bâtiment. Elle n'explique pas en soi pourquoi un bâtiment obtient un tel ou tel rendement, ou comment modifier le rendement du bâtiment. Cependant, elle vous aide à évaluer le rendement du ou des bâtiment(s) de votre portefeuille par rapport à des bâtiments semblables et à définir lesquels offrent les meilleures possibilités d'amélioration.

⁵ Selon *l'Enquête sur l'utilisation commerciale et institutionnelle de l'énergie – 2009*, l'IE médiane des immeubles de bureaux est de $1,20 \text{ GJ/m}^2$.

1 PARTIE

rapport à des bâtiments similaires. Les résultats fournissent une excellente base pour mesurer l'incidence des réaménagements en matière de consommation d'énergie et d'eau et sont un puissant facteur de motivation pour prendre des mesures afin d'améliorer le rendement énergétique de votre bâtiment.

Organisation des mesures du projet



Comme il en a été question dans le Module sur les principes, la réalisation de réaménagements majeurs selon une approche par phases est la manière la plus efficace d'améliorer le rendement énergétique de votre installation.

Chaque phase comprend des améliorations qui influenceront sur le choix des mesures effectuées aux phases suivantes. Cette approche assurera les plus importantes économies d'énergie et de coûts possibles.

1 PARTIE

Commissioning des bâtiments existants

Le commissioning est une activité de premier ordre pour améliorer le rendement énergétique d'un bâtiment existant. Des études ont démontré que le commissioning d'un bâtiment existant (CxBE) de type immeuble de bureaux entraîne généralement des économies d'énergie de 22 %, pour une période de récupération simple de seulement 1,1 an⁶.

Les économies issues d'un processus de commissioning sont réalisées en améliorant le fonctionnement des bâtiments et en restructurant les procédures d'entretien. Le *Guide de recommissioning pour les propriétaires et les gestionnaires de bâtiments*⁷ de Ressources naturelles Canada (RNCAN) vous montre comment réduire vos dépenses d'exploitation grâce à un fonctionnement amélioré des bâtiments.

À la section 1 du Module sur les principes, nous avons expliqué les quatre phases d'un programme de CxBE : évaluation, examen, mise en œuvre et transfert.

Durant les phases d'évaluation et d'examen, une étude détaillée des systèmes existants est effectuée, y compris la documentation de la configuration et de la séquence des opérations. Il en résulte une meilleure connaissance des opérations ainsi qu'une liste de mesures permettant de corriger les défaillances.

Durant la phase de mise en œuvre, les défaillances sont corrigées, et les possibilités d'économies définies lors des phases d'évaluation et d'examen peuvent être mises en œuvre. La philosophie générale du travail réalisé à cette étape consiste à s'assurer que tous les systèmes, équipements et contrôles du bâtiment sont adéquatement configurés et pleinement opérationnels.

Les mesures énumérées ci-après représentent quelques améliorations types apportées grâce à un processus de CxBE. Il est important que toute mesure soit effectuée avec son propre processus de commissioning afin d'assurer l'optimisation des réaménagements effectués aux systèmes⁸.



Exemple :

World Exchange Plaza
Ottawa (Ontario)

En 2011, Bentall Kennedy a établi un programme de participation des locataires au World Exchange Plaza pour réduire la consommation d'énergie et les coûts énergétiques. Des rencontres individuelles avec les locataires ont permis de faire ressortir deux mesures de CxBE. La première consistait à changer l'éclairage de base du bâtiment en remplaçant l'activation automatique à 6 h par l'activation manuelle à l'arrivée des occupants. La deuxième consistait à remplacer le calendrier du système de CVCA du samedi de 8 h à 13 h par une activation selon la demande des locataires. Ces deux mesures à elles seules ont permis d'économiser plus de 525 000 kWh par année.

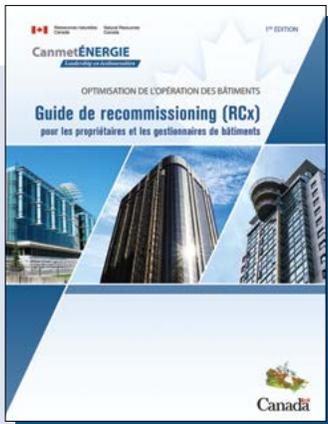
Source : CivicAction Alliance, Race to Reduce.

6 Mills, E. 2009. *Building Commissioning: A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Préparé pour la California Energy Commission.

7 *Optimisation de l'opération des bâtiments : Guide de recommissioning pour les propriétaires et les gestionnaires de bâtiments*. rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/recherche/optimisation/recommissioning/3796.

8 La norme Z320-11 de l'Association canadienne de normalisation (disponible en anglais seulement) fournit des lignes directrices concernant le commissioning des bâtiments et de tous les systèmes connexes. Elle a été élaborée pour traiter les bâtiments et leurs systèmes majeurs comme un tout, plutôt que comme des composants individuels ou indépendants. Elle peut être appliquée à une nouvelle construction ainsi qu'aux rénovations effectuées à des installations ou des bâtiments existants. shop.csa.ca/fr/canada/systemes-de-construction/z320-f11-/invnt/27032582011.

1 PARTIE



Pour en savoir plus sur le commissioning des bâtiments existants, consultez le *Guide de recommissioning pour les propriétaires et les gestionnaires de bâtiments*. Vous y apprendrez comment réduire vos dépenses et augmenter votre revenu grâce à un fonctionnement amélioré des bâtiments.

Liste des mesures de CxBE

✓ Confirmer la correspondance de l'horaire de contrôle de l'éclairage	✓ Calibrer les capteurs du système de contrôle automatique de bâtiment
✓ Confirmer que l'horaire d'exploitation du système de traitement de l'air correspond à l'occupation du bâtiment	✓ Activer un contrôle d'optimisation des heures d'opération
✓ Employer une remise du point de consigne de la température durant les heures d'inoccupation	✓ Corriger la surventilation
✓ Vérifier le fonctionnement du système de refroidissement naturel (côté air)	✓ Corriger les déséquilibres entre l'air d'alimentation et l'air évacué
✓ Fermer les valves des serpentins de chauffage lors de la saison de refroidissement	✓ Vérifier le point de consigne de l'humidification
✓ Élargir la plage morte de températures de la zone	✓ Enchaîner les chaudières au moyen des contrôles
✓ Réinitialiser le point de consigne de l'air d'alimentation	✓ Réinitialiser le point de consigne de l'eau des chaudières
✓ Fermer les registres d'air extérieur lors du réchauffement matinal durant la saison de chauffage	✓ Enchaîner les refroidisseurs au moyen des contrôles
✓ Effectuer une purge matinale durant la saison de refroidissement lorsque les conditions le permettent	✓ Réinitialiser le point de consigne de l'eau refroidie
✓ Utiliser une réinitialisation de la pression statique	✓ Réinitialiser le point de consigne de l'eau du condensateur
✓ Corriger le fonctionnement des registres d'air	✓ Tirer pleinement profit des tours de refroidissement disponibles
✓ Abaisser les points de consigne minimaux des boîtes de débit d'air variable	✓ Réparer l'isolation endommagée des conduits ou remplacer celle qui est manquante

■ Confirmer la correspondance de l'horaire de contrôle de l'éclairage :

Confirmer que l'horaire de contrôle de l'éclairage correspond à l'occupation réelle et explorer les possibilités de réduction des heures de fonctionnement en diminuant ou en éliminant les activités après les heures normales de bureau (p. ex., nettoyage) en les déplaçant durant les heures d'occupation existantes. Les contrôles devraient généralement être configurés de façon à éteindre l'éclairage intérieur à un moment défini, mais pas à l'allumer automatiquement; le personnel doit allumer les lumières lorsqu'il arrive le matin.

- **Confirmer que l'horaire d'exploitation du système de traitement de l'air correspond à l'occupation du bâtiment :** Lorsque de l'équipement fonctionne plus longtemps que nécessaire, des pertes d'énergie s'ensuivent. Bien souvent, les horaires d'exploitation des équipements sont temporairement étendus,



PARTIE 1

pour être ensuite oubliés. Vérifiez les horaires d'exploitation des équipements relativement aux contrôles des bâtiments, aux minuteriers mécaniques ou aux réglages des thermostats pour vous assurer qu'ils correspondent le plus possible à l'occupation.

- **Employer une remise du point de consigne de la température durant les heures d'inoccupation :** Un des moyens les plus rentables de réduire la consommation d'énergie est de changer le point de consigne pour la température du bâtiment lorsqu'il est inoccupé, c'est-à-dire en laissant le thermostat descendre plus bas que le point de consigne pour la période d'occupation durant la saison de chauffage, et monter plus haut que celui-ci durant la saison de refroidissement. Une remise des points de consigne de température se situe généralement de 2 à 5 °C; cependant, les niveaux réellement appropriés de ces températures dépendent du temps de rétablissement de l'équipement de CVCA de votre installation, c'est-à-dire le temps qu'il faut pour rétablir la température à un niveau confortable avant l'arrivée des occupants. Vérifiez le point de consigne du chauffage et celui du refroidissement durant les heures d'inoccupation et assurez-vous qu'elles sont activées.
- **Vérifier le fonctionnement du système de refroidissement naturel (côté air) :** En mode de refroidissement naturel, l'économiseur et les registres d'air extérieur d'un bâtiment sont complètement ouverts pour faire entrer une quantité maximale d'air extérieur plus sec et plus frais. Les stratégies pour contrôler la possibilité de refroidissement naturel comprennent, entre autres, l'enthalpie fixe, l'enthalpie différentielle et le thermomètre sec différentiel.

L'entretien des économiseurs est fréquemment négligé et même oublié dans maints appareils de traitement de l'air. Une étude préparée par le New Buildings Institute en 2004 a révélé que 64 % des économiseurs cessaient de fonctionner en raison de registres et d'actionneurs brisés ou grippés, de capteurs défectueux ou de contrôles incorrects⁹.

Un économiseur qui n'est pas contrôlé correctement peut passer inaperçu, parce que le refroidissement mécanique compensera pour maintenir la température de sortie au point de consigne. Cela peut comprendre des périodes de temps au cours desquelles une quantité insuffisante ou excessive d'air extérieur est introduite par un appareil de traitement de l'air. Le fait de ne pas corriger ou du moins atténuer cette situation provoquera vraisemblablement une consommation d'énergie accrue, attribuable au fonctionnement du ventilateur, au refroidissement et au chauffage.

L'incidence d'un économiseur défectueux est importante. Par exemple, toutes zones climatiques canadiennes confondues, une étude récente a révélé que les économies d'énergie annuelles moyennes pouvant être réalisées au moyen du refroidissement naturel dans un bâtiment de 5 000 m² correspondent à environ 19 000 kWh¹⁰.

⁹ New Buildings Institute, *Review of Recent Commercial Roof Top Unit Field Studies in the Pacific Northwest and California*, 8 octobre 2004. newbuildings.org/sites/default/files/NWPCC_SmallHVAC_Report_R3_.pdf (en anglais seulement).

¹⁰ Taylor, S., et C. Cheng. 2010. « Why Enthalpy Economizers Don't Work ». *ASHRAE Journal*, novembre 2010. nxtbook.com/nxtbooks/ashrae/ashraejournal_201011/index.php?startid=79#/14 (en anglais seulement).

1 PARTIE

- **Fermer les valves des serpentins de chauffage lors de la saison de refroidissement** : Bon nombre de serpentins de préchauffage et valves contrôlant le débit d'eau chaude au serpentin de chauffage de l'appareil de traitement de l'air devraient être fermés durant la saison de refroidissement afin de prévenir le chauffage accidentel ou inutile.
- **Élargir la plage morte de températures de la zone** : La plage morte de températures de la zone (l'éventail des températures où la zone n'est ni chauffée, ni refroidie) peut être élargie pour prévenir la « lutte » inutile entre les systèmes de chauffage et de refroidissement, minimisant ainsi la consommation d'énergie. Cela permet aussi d'atténuer l'instabilité des systèmes de chauffage et de refroidissement, causée par le cycle à court terme entre les modes de chauffage et de refroidissement.
- **Réinitialiser le point de consigne de l'air d'alimentation** : Les conditions météorologiques modérées, généralement à l'automne et au printemps, permettent un point de consigne plus élevé de l'air d'alimentation pour le refroidissement et un point de consigne réduit pour le chauffage.
- **Fermer les registres d'air extérieur lors du réchauffement matinal durant la saison de chauffage** : Lorsque le réchauffement du bâtiment s'effectue avant l'arrivée des occupants, assurez-vous que les registres d'air extérieur sont complètement fermés. Ce geste permet d'économiser de l'énergie en chauffant l'air recirculé plutôt que l'air extérieur, plus froid.
- **Effectuer une purge matinale durant la saison de refroidissement lorsque les conditions le permettent** : Durant la saison de refroidissement, refroidissez le bâtiment au préalable avec de l'air extérieur à 100 % (lorsque les conditions le permettent) avant de démarrer le système de refroidissement mécanique. C'est le rôle du contrôleur, qui capte les conditions acceptables de l'air extérieur et achemine un signal prioritaire au registre d'air extérieur ou de l'économiseur pour activer l'ouverture complète. Durant ce mode opérationnel, la récupération de chaleur doit être désactivée pour tirer profit de ce refroidissement naturel.
- **Utiliser une réinitialisation de la pression statique** : Les systèmes de ventilateurs d'alimentation à débit d'air variable (DAV) sont souvent contrôlés de façon à maintenir la pression statique dans les conduits à un point de consigne unique. Une stratégie plus efficace, et qui est exigée par la norme 90.1-2013¹¹ de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), consiste à utiliser un système à commande numérique directe (CND) pour réinitialiser le point de consigne de pression en fonction de la zone qui en exige le plus. Le point de consigne de pression statique peut être automatiquement réinitialisé grâce à une boucle de rétroaction de contrôle en fonction des zones, ce qui permet au ventilateur d'alimentation de maintenir le débit d'air nécessaire pour maintenir des conditions confortables dans les zones individuelles. La réinitialisation de la pression statique est une méthode très efficace pour réduire la consommation d'énergie du ventilateur dans les systèmes à DAV¹².

11 ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 — Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE, 2013. ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.1-2013_I-P (en anglais seulement).

12 Taylor, Steven P. 2007. « Increasing Efficiency with VAV System Static Pressure Setpoint Reset ». *ASHRAE Journal*, juin 2007. ashrae.org/resources--publications/periodicals/ashrae-journal/ASHRAE-Journal-Article-Index-2007 (en anglais seulement).



1 PARTIE

- **Corriger le fonctionnement des registres d'air :** En ce qui concerne les systèmes dotés de registres de zone à DAV, vous devez périodiquement inspecter les registres, les raccords et les actionneurs pour vous assurer qu'ils fonctionnent adéquatement. Dans les bâtiments plus vieux où l'entretien n'a pas été rigoureux, certains registres de zones peuvent être bloqués dans une position fixe, ce qui les empêche de régulariser le confort. L'évaluation et la réparation de ceux-ci peut prendre du temps et être coûteux (surtout dans les grands bâtiments pouvant avoir des centaines de zones), mais en inspectant une partie des registres de zones dans le cadre de votre programme de commissioning en continu, tous les registres seront inspectés selon un cycle donné (p. ex., tous les cinq ans).
- **Abaisser les points de consigne minimaux des boîtes de débit d'air variable :** Les fabricants de boîtes à DAV recommandent généralement un point de consigne de débit d'air minimal selon la taille de la boîte et l'option de contrôle standard. Cependant, lorsqu'on utilise un système à CND, le point de consigne minimal contrôlable réel dépendra des exigences propres à l'espace concerné et est habituellement beaucoup plus bas que le minimum programmé par le fabricant. La réduction du point de consigne minimal permettra de réduire l'alimentation du ventilateur.
- **Calibrer les capteurs du système de contrôle automatique de bâtiment :** Les systèmes de contrôle automatique de bâtiment utilisent l'information qui leur est acheminée par les divers capteurs installés dans le bâtiment. Les capteurs de température, de dioxyde de carbone (CO₂) et d'enthalpie (contenu énergétique total de l'air) ne sont que quelques exemples. Si les capteurs critiques installés dans un bâtiment ne sont pas précis (mal calibrés), les systèmes ne fonctionneront pas efficacement, les coûts augmenteront et des problèmes de confort pourront survenir.
- **Activer un contrôle d'optimisation des heures d'opération :** Bon nombre de systèmes à CND sont dotés d'un contrôle d'optimisation du démarrage qui, lorsqu'il est activé, permet de réduire la consommation d'énergie en démarrant le système de CVCA du bâtiment afin que le point de consigne pour les périodes d'occupation soit atteint juste avant l'arrivée des occupants.
- **Corriger la surventilation :** Mesurez les flux d'air en fonction des calculs prescrits par la norme ASHRAE 62¹³ pour vous assurer que le système répond aux taux de renouvellement d'air minimaux, mais n'entraîne pas de consommation d'énergie accrue en raison de la surventilation. Pour assurer la correspondance des taux de renouvellement d'air avec les divers taux d'occupation, un régime de contrôle de la demande peut être mis en place, selon lequel des capteurs de CO₂ fournissent une rétroaction au contrôle du registre d'air extérieur du système de CVCA pour moduler la position du registre en fonction de la charge d'occupants dans l'espace conditionné par le système. Cela permet au registre d'air extérieur d'être fermé durant les périodes d'inoccupation, économisant la portion d'énergie nécessaire pour conditionner l'air extérieur.

13 ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013 — Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. ASHRAE, 2013. ashrae.org/resources--publications/bookstore/standards-62-1--62-2 (en anglais seulement).

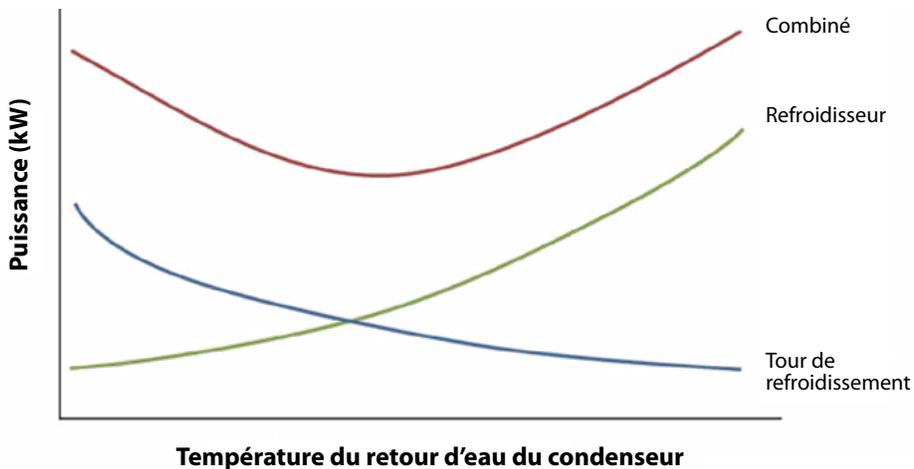
1 PARTIE

- **Corriger les déséquilibres entre l'air d'alimentation et l'air évacué :**
La pression des bâtiments devrait être neutre ou légèrement positive en comparaison des conditions extérieures. Effectuez un balancement de l'air lors du processus de commissioning pour mesurer la pression et faciliter la mise en place de mesures correctives afin de rétablir l'équilibre approprié.
- **Vérifier le point de consigne de l'humidification :** Assurez-vous que le point de consigne de l'humidification satisfait aux exigences minimales concernant l'humidité relative de la norme ASHRAE 55, sans toutefois la surpasser.
- **Enchaîner les chaudières au moyen des contrôles :** Dans le cas de chaudières multiples, il est important de les mettre en séquence de manière à ce que chacune d'entre elles fonctionne le plus efficacement possible en fonction d'une charge donnée.
- **Réinitialiser le point de consigne de l'eau des chaudières :** Durant les saisons intermédiaires, les charges de chauffage des installations peuvent souvent être atteintes à l'aide de températures d'eau de chauffage plus basses. La réinitialisation du point de consigne de l'eau en fonction de la température de l'air extérieur aide à faire correspondre le rendement de la chaudière à la charge réelle, ce qui se traduit par des économies d'énergie.
- **Enchaîner les refroidisseurs au moyen des contrôles :** Dans le cas de refroidisseurs multiples, il est important de les mettre en séquence de manière à ce que chacun d'entre eux fonctionne le plus efficacement possible en fonction d'une charge donnée.
- **Réinitialiser le point de consigne de l'eau refroidie :** Au fur et à mesure que la température et l'humidité extérieures augmentent, la température de l'eau refroidie doit être plus froide pour pouvoir soutenir les charges internes. À l'inverse, au fur et à mesure que la température et l'humidité diminuent, la température de l'eau refroidie doit être plus chaude pour prévenir le surrefroidissement et garantir le confort des occupants. Cette stratégie aide à faire correspondre le rendement du refroidisseur à la charge réelle. Des économies sur le plan de la demande d'énergie peuvent être réalisées en augmentant les températures de l'eau refroidie lorsque les conditions le permettent.
- **Réinitialiser le point de consigne de l'eau du condensateur :** L'augmentation des températures de l'eau du condensateur fait en sorte que l'alimentation du ventilateur de la tour de refroidissement diminue et que l'alimentation du refroidisseur augmente. Comme le montre la figure 5, la température de fonctionnement optimale survient au point où ces deux tendances opposées se combinent pour produire la consommation d'énergie totale la plus faible. Cependant, le point de consommation d'énergie le plus bas change en fonction des conditions extérieures (p. ex., température, humidité). En programmant une réinitialisation, les températures de l'eau du condensateur peuvent varier en fonction des conditions extérieures pour maintenir les activités au point de consommation d'énergie le plus bas du système, ou à tout le moins près de ce point.

1

PARTIE

Figure 5. Incidence énergétique de la température de l'eau du condenseur



Source : © E Source.

■ **Tirer pleinement profit des tours de refroidissement disponibles :**

La plupart des centrales de refroidissement à eau ont une capacité excédentaire, en ce sens qu'une ou plusieurs tours de refroidissement ne fonctionnent pas durant les périodes de faibles charges. Pour tirer pleinement profit des tours de refroidissement existantes, il suffit de faire circuler l'eau du condenseur dans le plus de tours possible, le plus de fois possible, et à la vitesse de ventilateur la plus lente possible. Cette stratégie ne s'applique qu'aux systèmes de refroidissement à l'eau qui peuvent faire varier la vitesse des ventilateurs des tours de refroidissement et qui comprennent de multiples tours de refroidissement et refroidisseurs raccordés en parallèle.

- **Réparer l'isolation endommagée des conduits ou remplacer celle qui est manquante :** Les inspections de routine de l'isolation des conduits de chauffage et de refroidissement peuvent aider à déterminer les réparations nécessaires. Sans isolation, l'énergie se perd sous forme de pertes à vide et de pertes cycliques (p. ex., perte de chaleur dans les espaces inoccupés lorsque l'eau chaude circule dans les conduits).



Photo fournie par Claudette Poirier, Vancouver Island Health Authority

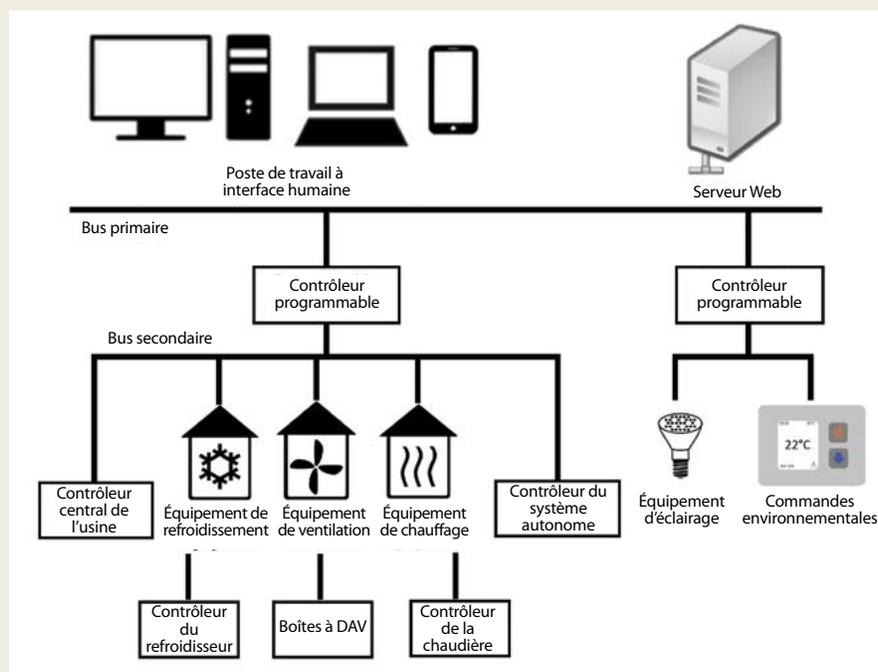
1 PARTIE

Système de contrôle automatique de bâtiments

Bon nombre de vieux bâtiments n'ont pas de système de contrôle centralisé. Ils sont plutôt équipés de contrôles manuels, électromécaniques ou pneumatiques. En général, ces vieux contrôles ne fournissent pas de rétroaction exacte et en temps opportun aux exploitants, et ne permettent habituellement pas de coordonner les différents systèmes de bâtiment (p. ex., les bâtiments peuvent être sujets au chauffage et au refroidissement simultanés). Les ajustements des contrôles sont souvent effectués selon une pratique historique ou selon « l'intuition ».

Grâce à l'installation d'un système de contrôle, plusieurs systèmes ou même tous les systèmes du bâtiment peuvent être reliés à un serveur central (figure 6), permettant à un exploitant de les surveiller et d'ajuster leurs interactions. Bien que cette mesure n'entraîne pas directement d'économies d'énergie, l'amélioration de la commandabilité des systèmes du bâtiment est tout de même une importante stratégie pour permettre d'en réaliser indirectement. Pour cette raison, l'installation d'un système de contrôle automatique est devenue une pratique commune dans le secteur des immeubles de bureaux.

Figure 6. Diagramme simplifié d'un protocole ouvert pour un système de contrôle automatique de bâtiments





1 PARTIE

Au cours des 25 dernières années, les systèmes à CND sont devenus la technologie dominante pour contrôler les systèmes de CVCA. Les systèmes à CND sont aussi fréquemment utilisés pour contrôler les systèmes d'éclairage et effectuer la surveillance à distance des systèmes de sécurité et d'alarme-incendie. Tous les systèmes à CND fonctionnent à partir du Web, afin que les exploitants puissent surveiller à distance leurs systèmes de CVCA, d'éclairage et de sécurité grâce à leurs ordinateurs de bureau et leurs appareils portables.

Au moment d'acheter un système de contrôle, pensez à installer un système dont le protocole de communication a un format ouvert. Grâce à un protocole ouvert, les composants de contrôle fabriqués par une entreprise sont compatibles avec les contrôles fournis par d'autres entreprises (interopérabilité). Ainsi, la flexibilité est accrue, et la performance optimisée, tandis que le remplacement et l'amélioration futurs de l'équipement s'en trouvent facilités. BACnet^{®14} est un exemple de protocole ouvert fréquemment utilisé.

14 Norme 135 2012 de l'ANSI/ASHRAE : BACnet[®] – A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks.

1 PARTIE

Principaux termes liés à l'éclairage

- **Indice de rendu des couleurs (IRC) :** Mesure de 1 à 100 de la capacité d'une source lumineuse à révéler les couleurs des divers objets correctement en comparaison avec une source de lumière naturelle ou idéale. Un IRC de 100 est idéal.
- **Efficacité des luminaires :** Ratio de lumens émis par un luminaire par rapport aux lumens émis par la ou les lampe(s) installée(s) sur ce luminaire.
- **Efficacité de l'éclairage :** Mesure de la puissance lumineuse de sortie par unité d'alimentation. Elle est exprimée en lumens par watt (lm/W).
- **Densité de puissance d'éclairage (DPE) :** Mesure de la charge d'éclairage connectée par unité de superficie. Elle est exprimée en watts par mètre carré (W/m²).
- **Lumen :** Unité mesurant la puissance lumineuse totale émise par une source de lumière (lm).
- **Luminaire :** Unité d'éclairage complète (lampe, luminaire, lentilles, ballast, câblage, etc.).
- **Lux :** Unité de mesure de l'éclairage qui équivaut à un lumen par mètre carré (lx). L'unité impériale est le pied-bougie (en anglais, *foot candle* ou fc), qui équivaut à un lumen par pied carré.

Améliorations de l'éclairage

L'éclairage représente environ 12 % de la consommation d'énergie dans les immeubles de bureaux canadiens, et il a une incidence sur d'autres systèmes de bâtiment, parce qu'il exige de l'électricité et qu'il produit de la chaleur sensible. L'amélioration des systèmes d'éclairage en ayant recours à des sources lumineuses, des luminaires et des contrôles plus efficaces permet de réduire la consommation d'énergie liée à l'éclairage et d'améliorer l'environnement visuel; cette mesure peut même avoir une incidence sur la taille des systèmes de CVCA et électriques.

Les améliorations apportées aux systèmes d'éclairage sont souvent des investissements attrayants, en raison de leurs coûts d'investissements relativement faibles et de la courte période de récupération. Même de simples améliorations peuvent permettre de réduire la consommation d'énergie liée à l'éclairage selon un éventail situé entre 10 % et 85 %, en plus de pouvoir accroître la santé et la productivité des employés¹⁵. Si on considère que les densités de puissance d'éclairage des anciens codes sont au moins le double de celles des codes courants, il est possible de faire des économies d'énergie de l'ordre de 50 %, même sans contrôles additionnels.

L'éclairage et le Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada

Les densités de puissance d'éclairage (DPE) ont diminué en raison de la migration des activités administratives, qui sont passées du traitement sur papier au traitement informatisé. En ce qui a trait aux immeubles de bureaux, le *Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments* de 1997 permettait des DPE de 19,4 à 36,7 W/m², selon l'activité et la configuration de l'aménagement. Le CNÉB 2011 prescrit une DPE maximale de 9,7 W/m² pour ce qui est des immeubles de bureaux. Ces changements sont essentiellement attribuables à l'efficacité améliorée de la technologie d'éclairage et à la transition vers une stratégie d'éclairage qui intègre l'éclairage ambiant et l'éclairage localisé.

Guide de calcul de la DPE

1. Définir les limites de la zone d'étude, mesurer et calculer la superficie en mètres carrés.
2. Recueillir la puissance d'entrée ou l'ampérage pour chaque type d'appareil d'éclairage de la zone. Ce renseignement devrait figurer sur l'étiquette des données électriques apposée sur les appareils. Ne pas utiliser la puissance des lampes. Lorsque la puissance d'entrée est indiquée en watts, utiliser cette valeur. Lorsque la puissance d'entrée est indiquée en ampères, multiplier l'ampérage par la tension (120 V ou 347 V) pour obtenir la puissance.
3. Calculer la somme des puissances d'entrée des appareils et diviser en fonction de la superficie pour déterminer la DPE en watts par mètre carré.

15 Consortium for Building Energy Innovation. *Best Practices for Lighting Retrofits, Picking the Low Hanging Fruit*. Révisé le 29 août 2013. research.cbei.psu.edu/research-digest-reports/best-practices-for-lighting-retrofits (en anglais seulement).

1 PARTIE

Les réaménagements des systèmes d'éclairage se présentent sous deux formes : le remplacement direct et la nouvelle conception.

Réaménagements par remplacement direct

Les réaménagements par remplacement direct nécessitent un travail d'analyse mineur et, comme le terme l'indique, consistent à remplacer directement les sources d'éclairage ou les systèmes de contrôle en place. Par exemple, de nouvelles lampes à diode électroluminescente (DEL) de 11 W peuvent remplacer des lampes à incandescence halogènes MR16 de 50 W. Les réaménagements par remplacement direct ne devraient pas avoir d'incidence négative sur la sécurité, le confort ou la productivité des occupants.

Pour vérifier l'incidence des réaménagements par remplacement direct, il peut être utile de les appliquer à un étage ou à une zone désignée à titre d'essai dans le cadre d'une étude ayant trait à l'incidence de l'éclairage sur les occupants.

Liste des mesures relatives à l'éclairage (réaménagements par remplacement direct)

- ✓ Remplacer les lampes incandescentes et les lampes fluorescentes compactes d'utilisation fréquente par des lampes DEL
- ✓ Remplacer les panneaux Sortie à éclairage incandescent par des panneaux à éclairage DEL
- ✓ Remplacer l'éclairage extérieur et des stationnements par un éclairage à lampes DEL
- ✓ Remplacer les lampes fluorescentes dans les escaliers et les sorties par des lampes DEL
- ✓ Remplacer les interrupteurs muraux installés dans les pièces cloisonnées par des capteurs d'occupation ou d'inoccupation

- **Remplacer les lampes incandescentes et les lampes fluorescentes compactes d'utilisation fréquente par des lampes DEL :** Par exemple, les lampes incandescentes MR16 sont fréquemment utilisées dans les luminaires suspendus et encastrés. Il est possible de réaliser des économies de presque 80 % en remplaçant directement une lampe MR16 de 50 W par une lampe DEL de 11 W qui a un indice de rendu des couleurs (IRC) de 92.
- **Remplacer les panneaux Sortie à éclairage incandescent par des panneaux à éclairage DEL :** Les panneaux Sortie peuvent être remplacés complètement ou convertis à l'éclairage DEL au moyen d'une trousse de réaménagement. Les économies sont importantes étant donné que ces panneaux fonctionnent 24 heures par jour, sept jours sur sept.
- **Remplacer l'éclairage extérieur et des stationnements par un éclairage à lampes DEL :** Les luminaires DEL offrent des économies supérieures à 40 % par rapport aux lampes à décharge à haute intensité (DHI) conventionnelles.
- **Remplacer les lampes fluorescentes dans les escaliers et les sorties par des lampes DEL :** Puisque les escaliers et les sorties sont généralement éclairés 24 heures par jour, sept jours sur sept, la conversion à l'éclairage DEL peut permettre de réaliser des économies importantes.



1 PARTIE

- **Remplacer les interrupteurs muraux installés dans les pièces cloisonnées par des capteurs d'occupation ou d'inoccupation :** Les capteurs d'occupation et d'inoccupation éteignent les lumières lorsque les espaces sont inoccupés. Les capteurs d'occupation allument automatiquement les lumières lorsqu'ils détectent des occupants; les capteurs d'inoccupation nécessitent une activation manuelle de l'interrupteur mural pour l'allumage des lumières. Les capteurs d'inoccupation offrent les meilleures économies, puisque les lumières ne s'allumeront jamais automatiquement. Un temps d'arrêt de 15 minutes est typique pour éviter les courts cycles et la diminution de la durée de vie de la lampe.

Selon un sondage mené par le Department of Energy des États-Unis, 60 % des immeubles de bureaux demeurent allumés après les heures d'exploitation. Même durant les heures d'exploitation, 25 % de la superficie de la plupart des locaux à bureaux est cloisonnée (p. ex., bureaux fermés, salles de conférences et de reprographie, toilettes et aires d'entreposage), 40 % de cet espace étant utilisé seulement à l'occasion (c.-à-d. de 10 % à 70 % du temps)¹⁶.

L'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis estime que les économies potentielles d'énergie consacrée à l'éclairage dans des conditions optimales se situent entre 25 % et 75 %, selon le type d'espace¹⁷.

Réaménagements par nouvelle conception

Contrairement aux réaménagements par remplacement direct, les réaménagements par nouvelle conception exigent la réalisation d'analyses et d'exercices de conception pour s'assurer que le système d'éclairage et la stratégie de contrôle résultants répondront aux besoins des occupants. La conception d'un système d'éclairage doit tenir compte d'éléments importants, comme les rapports de luminance, l'effet d'éblouissement et la qualité de couleur ainsi que la quantité de lumière.

Lorsque vous décidez d'entreprendre des travaux de réaménagement qui requièrent une nouvelle conception, considérez les besoins d'éclairage ambiant séparément des besoins d'éclairage localisé et d'accentuation spécialisé. En ce qui a trait à l'éclairage ambiant, vous pouvez améliorer le rendement considérablement en concevant un schéma d'éclairage et en choisissant des luminaires qui offrent plus de lumens à l'endroit précis où vous les souhaitez par watt branché (efficacité). L'éclairage localisé et l'éclairage d'accentuation peuvent ensuite être utilisés dans des aires spécifiques.

La réduction du nombre de luminaires ou de lampes grâce à des améliorations de la configuration d'éclairage permettra aussi de réduire la puissance lumineuse. Dans ce cas, une nouvelle conception d'éclairage nécessitera vraisemblablement des simulations du niveau d'éclairage afin de vous assurer que le résultat final répond à toutes les exigences en matière de qualité d'éclairage pour cet espace.

16 Department of Energy des États-Unis, Energy Information Administration. *2003 Commercial Building Energy Consumption Survey*. eia.gov/consumption/commercial/data/2003/ (en anglais seulement).

17 Environmental Protection Agency des États-Unis. *Putting Energy into Profits: ENERGY STAR® Guide for Small Business*. energystar.gov/ia/business/small_business/sb_guidebook/smallbizguide.pdf (en anglais seulement).

Tableau 1. Recommandations en matière d'éclairage dans les immeubles de bureaux

Applications et tâches	Cibles d'éclairage (lux) ¹⁸
Travail de bureau général – écriture et lecture	500 ¹⁹
Travail de bureau général – lecture à l'écran et saisie	300 ²⁰
Salles de réunion	300
Bureau d'accueil	400
Salle d'attente	200
Couloirs (circulation)	50
Escaliers	50
Halls – jour	100
Halls – nuit	50

Source : *The Lighting Handbook*, 10^e édition. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA).

Au moment de concevoir les modifications qui seront apportées aux systèmes d'éclairage, les principes suivants s'appliquent :

- Concevoir l'aménagement du système d'éclairage en respectant les principes énoncés dans les normes de l'Illuminating Engineering Society of North America (IESNA).
- S'assurer que la DPE est égale ou inférieure à celle prescrite par le CNÉB.
- Utiliser la source lumineuse la plus efficace pour l'application. Par exemple, les systèmes de lampes fluorescentes à haut rendement comme première source d'éclairage pour la majorité des espaces; les lampes DEL pour remplacer les ampoules incandescentes.
- Utiliser la lumière naturelle dans la mesure du possible, mais éviter la lumière solaire directe, car elle entraîne des problèmes d'éblouissement. Installer des contrôles pour réduire l'utilisation de lumières électriques en réponse à la lumière naturelle.
- Utiliser des contrôles automatiques pour éteindre l'éclairage ou réduire l'intensité, s'il y a lieu.
- Planifier et exécuter le commissioning de tous les systèmes d'éclairage pour vous assurer qu'ils fonctionnent bien et répondent aux besoins. Préparer un calendrier de recommissioning périodique des systèmes.

18 Niveaux d'éclairage horizontal recommandés mesurés à 76 cm au-dessus du plancher, où au moins la moitié des observateurs sont âgés de 25 à 65 ans.

19 Éclairage général pour l'exécution de tâches.

20 Éclairage général (ambiant) où un éclairage localisé est fourni pour les tâches de lecture et d'écriture.

1 PARTIE

Il est important que les niveaux d'éclairage répondent adéquatement aux besoins des occupants en étant appropriés pour les tâches qu'ils ont à accomplir. Il importe également de ne pas **sous-éclairer** – l'économie d'énergie électrique est souvent contrebalancée par une plus grande perte de rendement ou de productivité des employés.

Mais ce qu'il y a de plus important que la quantité de lumière, c'est la **qualité**. Les sources lumineuses les plus efficaces montées sur les meilleurs luminaires peuvent faire économiser l'énergie, mais ne produiront aucune valeur pour les propriétaires et les occupants si elles sont utilisées de façon inappropriée.

Non seulement l'éclairage a une incidence sur le rendement énergétique d'autres systèmes du bâtiment, mais il a aussi une incidence directe sur le confort, l'humeur, la productivité, la santé et la sécurité des occupants, et peut même en avoir une sur l'aspect visuel et l'attrait d'un bâtiment. Par conséquent, pour être réussies, les améliorations du système d'éclairage devront combiner l'efficacité énergétique ainsi qu'une amélioration de la qualité de l'éclairage et de l'esthétique architecturale.

1 PARTIE

Liste des mesures relatives à l'éclairage (réaménagements par nouvelle conception)

- ✓ Éliminer des lampes aux endroits possibles
- ✓ Ajouter des réflecteurs spéculaires
- ✓ Combiner les stratégies d'éclairage ambiant et localisé
- ✓ Tirer profit de l'utilisation de la lumière naturelle
- ✓ Installer des ballasts adressables
- ✓ Installer un éclairage DEL
- ✓ Ajouter un système central de contrôle de l'éclairage

- **Éliminer des lampes aux endroits possibles :** L'élimination de lampes permet d'enlever les lampes ou les luminaires inutiles dans les zones où il y a un éclairage plus intense que nécessaire. Cela peut toutefois engendrer une distribution inadéquate de la lumière dans un espace donné. Dans certains cas, une trousse de centrage de lampes est requise pour s'assurer que le luminaire diffusera adéquatement la lumière. Avant d'effectuer des éliminations de lampes, vous devez répondre aux deux importantes questions suivantes :

i. Les niveaux d'éclairage réduits seront-ils adéquats pour la tâche à accomplir?

L'IESNA a développé des niveaux d'éclairage recommandés pour la plupart des tâches ayant besoin d'éclairage. Si l'enlèvement de lampes ou de luminaires ne réduit pas les niveaux d'éclairage en deçà des niveaux recommandés, l'élimination de lampes peut être une bonne stratégie.

Une bonne règle pratique pour ce qui est de l'éclairage ambiant de bureau est de maintenir au moins deux lampes de 4 pieds à tous les 5,95 m² (64 pi. ca.). Les niveaux d'éclairage ambiant réels varieront selon les valeurs de réflectance, les hauteurs et les emplacements des cloisons et l'âge des lampes.

De plus, selon l'aménagement du câblage des ballasts et des lampes, les lampes restantes peuvent causer des scintillements ou avoir un moins bon rendement ou une durée de vie écourtée. C'est le cas des ballasts branchés en série. Si vous utilisez des ballasts branchés en parallèle, l'enlèvement des lampes n'aura pas d'effet négatif sur la ou les lampe(s) restante(s).

ii. Le type de ballast fait-il une différence?

On peut habituellement éliminer des lampes de ballasts branchés en parallèle sans problème. Il est recommandé de vérifier auprès du fabricant si le ballast peut fonctionner avec un nombre inférieur de lampes que celui mentionné sur l'étiquette.

Les ballasts branchés en série (plutôt qu'en parallèle) auxquels une lampe a été enlevée n'allumeront pas les lampes restantes de façon appropriée et échoueront si on les laisse opérationnels. Dans un ballast branché en série, toutes les lampes doivent être enlevées. De plus, étant donné qu'un ballast électronique continuera à tirer jusqu'à 10 W, il est recommandé de couper son alimentation.

- **Ajouter des réflecteurs spéculaires :** Les réflecteurs spéculaires sont des composants de luminaires qui ont des surfaces ultrapolies qui reflètent

1 PARTIE

davantage la lumière et augmentent le rendement lumineux général et l'efficacité lumineuse. Les meilleurs réflecteurs sur le marché peuvent produire jusqu'à 98 % de réflectance et accroître le rendement lumineux d'un luminaire dans une mesure pouvant aller jusqu'à 20 %.

Les réflecteurs ne permettent pas de faire des économies d'énergie en soi. Cependant, le fait d'en installer peut augmenter l'efficacité lumineuse, réduisant ainsi le nombre de lampes ou de luminaires requis pour obtenir des niveaux d'éclairage adéquats. Les réflecteurs spéculaires sont une application complémentaire à la stratégie d'élimination de lampes.

Un ancien luminaire standard à quatre lampes, par exemple, aura une efficacité située entre 55 % et 65 %, selon la spécification relative au ballast et la propreté du luminaire. En ajoutant un réflecteur spéculaire, en enlevant deux lampes et en repositionnant les supports des lampes restantes pour une distribution équilibrée de la lumière, l'efficacité du luminaire pourra augmenter jusqu'à 85 %²¹.

- **Combiner les stratégies d'éclairage ambiant et localisé :** Historiquement, le modèle d'éclairage le plus commun pour les bâtiments commerciaux consistait en un éclairage général, où un seul type de luminaire était installé, selon un agencement ou un modèle courant, afin de produire une lumière relativement uniforme dans une pièce. L'éclairage général conçu pour répondre aux besoins d'éclairage localisé dans un espace donné diffuse habituellement beaucoup plus de lumière que celle nécessaire pour la circulation dans le bâtiment (c.-à-d., éclairage autre que localisé). La consommation d'énergie liée à l'éclairage peut être réduite de plus de 40 % simplement en diminuant l'intensité du plafonnier et en fournissant aux travailleurs un éclairage localisé DEL individuel.

Les stratégies d'éclairage modernes comprennent une combinaison d'éclairage localisé et d'éclairage ambiant. L'éclairage localisé offre aux occupants les niveaux d'éclairage là où ils en ont besoin, permettant ainsi de diffuser un éclairage ambiant à des niveaux plus faibles. Conformément aux normes de conception de systèmes d'éclairage de l'IESNA, les rapports de luminance pour l'éclairage localisé et ambiant ne doivent pas dépasser 3:1. La majorité des types de tâches administratives exigent de 500 à 600 lx d'éclairage localisé, et par conséquent, les niveaux d'éclairage ambiant ne devraient pas être plus bas qu'environ 200 lx pour créer un environnement de travail confortable.

Cette transition vers l'éclairage ambiant et localisé améliore le confort et la satisfaction des employés, en plus d'offrir des avantages sur le plan de la santé et de la productivité. Une étude de plusieurs bâtiments a consigné une réduction de 19 % des maux de tête chez les travailleurs disposant d'un éclairage localisé et d'un éclairage ambiant séparés, en comparaison des travailleurs disposant uniquement d'un éclairage provenant d'un plafonnier²². Une autre étude a

Les **réflecteurs spéculaires** peuvent s'installer sur de nouveaux luminaires (spécifiés comme faisant partie de ceux-ci) et ils s'adaptent aussi bien aux luminaires existants. Grâce à une efficacité accrue des luminaires, vous pouvez enlever plus de lampes tout en continuant d'offrir les niveaux d'éclairage requis.

Une combinaison des **stratégies d'éclairage ambiant et d'éclairage localisé** permet de faire des économies d'énergie de trois manières. D'abord, le placement de la source lumineuse le plus près possible de la tâche permet de bénéficier des niveaux d'éclairage les plus efficaces dont on a besoin. Ensuite, puisque les niveaux d'éclairage localisé n'ont pas à être maintenus uniformément dans tout l'espace, les niveaux de l'éclairage ambiant peuvent être plus faibles. Finalement, certains occupants n'utiliseront pas l'éclairage localisé, et les bureaux ou les postes de travail inoccupés ne doivent pas nécessairement être complètement éclairés, ce qui permet d'économiser encore plus d'énergie.

21 Specifier Reports, Specular Reflectors, National Lighting Product Information Program, tome 1, n° 3, juillet 1992. lrc.rpi.edu/programs/NLPIP/PDF/VIEW/SRSpecRe.pdf (en anglais seulement).

22 Çakir, A. E. 1991. *Light and Health: Influences of Lighting on Health and Well-being of Office and Computer Workers*. Berlin, Allemagne : Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung. ergonomic.de/beitraege/light-and-health-influences-of-lighting-on-health-and-well-being-of-office-and-computer-workers/ (en anglais seulement).

1 PARTIE

Si on souhaite utiliser la **lumière naturelle** pour l'éclairage intérieur, il faut porter une attention particulière aux divers éléments de la conception du système d'éclairage. L'éblouissement est un effet secondaire négatif de la lumière naturelle à l'intérieur d'un bâtiment. La lumière solaire directe peut causer des rapports de luminance très irréguliers qui sont distrayants ou inconfortables pour les occupants. Les appareils de contrôle et les traitements de la lumière naturelle sont essentiels pour maintenir des espaces de travail confortables qui favorisent la productivité des occupants.

révélé une amélioration de 11 % des tâches, comme la multiplication à trois chiffres, lorsque les sujets pouvaient contrôler les niveaux d'éclairage à l'aide d'un éclairage localisé^{23, 24}.

- **Tirer profit de l'utilisation de la lumière naturelle** : L'utilisation de la lumière naturelle consiste à utiliser l'éclairage naturel en tant que source d'éclairage. Dans les bâtiments où la lumière naturelle est utilisée (et où on peut donc éteindre ou diminuer l'éclairage électrique), il est possible de réduire la consommation d'énergie et la demande de pointe, d'une part, et de créer un environnement intérieur plus invitant, d'autre part. Cependant, il faut effectuer une planification rigoureuse pour profiter de tous les avantages potentiels offerts par un système d'éclairage naturel; cette tâche peut s'avérer complexe dans les bâtiments existants possédant déjà des fenêtres et autres ouvertures.

Les capteurs de gradation ou les contrôles arrêt-marche des lumières périphériques peuvent permettre de réduire l'éclairage électrique lorsqu'il y a de la lumière naturelle. Les capteurs qui ajustent graduellement les lumières en réponse à la lumière naturelle disponible permettent de réaliser des économies d'énergie moyennes de 30 %^{25, 26}. Autre fait important, l'utilisation de la lumière naturelle en tant que principale source d'éclairage a une incidence sur la productivité. Une étude de terrain effectuée à une entreprise de développement de logiciels a révélé que les occupants qui travaillaient sur des ordinateurs dans un bureau doté de fenêtres passaient environ 15 % plus de temps à travailler que leurs collègues dont les bureaux ne disposaient d'aucune lumière naturelle²⁷. Une autre étude de terrain a permis d'établir une réduction de 15 % du taux d'absentéisme chez les travailleurs qui avaient un milieu de travail disposant de la lumière naturelle²⁸.

Les appareils de contrôle de l'éclairage, par exemple, les tablettes réfléchissantes (figure 7), illustrent comment la lumière naturelle directe indésirable peut être réfléchiée vers le plafond, permettant de faire pénétrer la lumière dans l'espace intérieur de manière régulière et diffuse, ce qui constitue l'effet souhaitable recherché.

23 Rivard, C., et autres. 2006. *Productivity with task and ambient lighting system evaluated by fatigue and task performance*. bsria.co.uk/information-membership/information-centre/library/item/productivity-with-task-and-ambient-lighting-system-evaluated-by-fatigu-jun-2006/ (en anglais seulement).

24 Schwartz, B. S., et autres. 1997. « Lost Workdays and Reduced Work Effectiveness Associated with Headache in the Workplace ». *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. journals.lww.com/joem/Abstract/1997/04000/Lost_Workdays_and_Decreased_Work_Effectiveness.9.aspx (en anglais seulement).

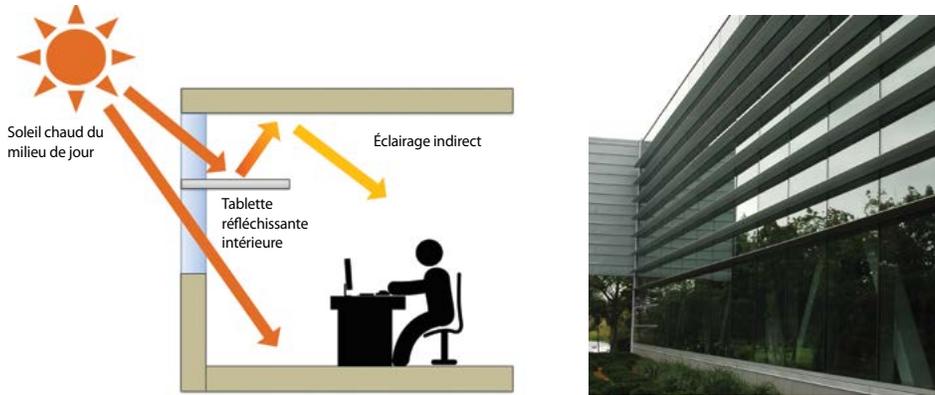
25 Department of Energy des États-Unis, Energy Information Administration. 2003. 2003 Commercial Building Energy Consumption Survey. eia.gov/consumption/commercial/data/2003/ (en anglais seulement).

26 Lee, E. S., et S. E. Selkowitz. 2005. « The New York Times Headquarters Daylighting Mockup: Monitored performance of the day lighting control system ». *Energy and Buildings*. sites.energetics.com/buildingenvelope/pdfs/56979.pdf (en anglais seulement).

27 Figueiro, M., M. Rea et autres. 2002. « Daylight and Productivity: A Field Study ». ACEEE Summer Study (on Energy Efficiency in Buildings) Proceedings (Panel 8, Paper 6). Pacific Grove, CA. ecee.org/library/conference_proceedings/ACEEE_buildings/2002/Panel_8/p8_6 (en anglais seulement).

28 Thayer, B. M. 1995. « Daylighting & Productivity at Lockheed ». *Solar Today*, mai-juin 1995. bristolite.com/Interfaces/media/Lockheed%20Martin%20Productivity%20Study%201983.pdf (en anglais seulement).

Figure 7. Tablettes réfléchissantes



Outre les avantages pour les occupants, l'éclairage naturel jouit d'un avantage important par rapport à l'éclairage électrique, puisque le contenu spectral de la lumière naturelle produit environ 2,5 fois plus de lumens par unité de charge de refroidissement. Ce rapport peut être amélioré encore plus si la lumière naturelle est introduite par des vitrages à haute performance, dotés d'un revêtement à faible émissivité. Lorsque la lumière naturelle peut produire des niveaux d'éclairage comparables ou supérieurs à ceux de l'éclairage électrique, les lumières électriques peuvent être éteintes. Cela permet non seulement de réduire la consommation d'énergie associée à l'éclairage en soi, mais aussi d'économiser de l'énergie en réduisant de moitié la charge de refroidissement du bâtiment attribuable à l'éclairage. De plus, ces économies ont tendance à coïncider avec les pics d'énergie observables lors des chaudes journées d'été²⁹.

Pour tirer profit de l'éclairage naturel, des contrôles adaptables sont nécessaires pour réduire la charge d'éclairage électrique tout en préservant la qualité et la quantité de lumière dans l'espace.

Les contrôles de l'éclairage se présentent sous deux formes : interrupteurs et gradateurs. Les interrupteurs permettent d'éteindre les lumières lorsque la quantité de lumière naturelle est adéquate; de leur côté, les gradateurs permettent de modifier graduellement la puissance lumineuse des luminaires en réponse à la quantité de lumière naturelle disponible. Les deux stratégies nécessitent des capteurs pour fournir de la rétroaction aux contrôles.

1 PARTIE

Exemple :

Bentall Kennedy et RBC
Mississauga (Ontario)

Bentall Kennedy et RBC ont installé un système DALI à leur installation de 7 620 m² (82 000 pi. ca.), à Mississauga. Les systèmes DALI surveillent et contrôlent électroniquement chaque luminaire individuellement et ajustent automatiquement le rendement lumineux en fonction de l'occupation, de la lumière naturelle et des heures d'exploitation. Ce système a été choisi parce que les plaques de plancher du bâtiment sont larges, et que les différents utilisateurs sur chaque étage avaient des heures de travail variables et prolongées.

La consommation d'énergie liée à l'éclairage du bâtiment représentait environ 6,3 millions de kilowattheures par année. À la suite de l'installation du système, la consommation d'énergie a été réduite de moitié.

Source : CivicAction Alliance, Race to Reduce.

²⁹ IESNA. *Advanced Lighting Guidelines*, édition de 2001.

1 PARTIE

Incidences des réaménagements des systèmes d'éclairage intérieur sur le système de CVCA

Les systèmes d'éclairage ne convertissent qu'une fraction de leur rendement électrique en rendement lumineux utile; le reste est en grande partie libéré directement sous forme de chaleur. Toutes améliorations du système d'éclairage qui réduisent la puissance d'entrée réduisent aussi la quantité de chaleur qui doit être éliminée par le système de climatisation de l'air.

Bien que cela diminue le besoin de climatisation de l'air en été, cela réduit aussi la chaleur disponible issue de l'éclairage durant les mois d'hiver. L'effet précis sur un bâtiment donné peut être déterminé par simulation informatique. Dans l'ensemble, l'installation d'un système d'éclairage écoénergétique est une mesure très efficace pour diminuer la demande électrique de pointe, réduire la consommation d'énergie et diminuer les coûts des services publics.

Contrôle par gradateur

La gradation est continue selon la plage du ballast, permettant ainsi une vaste portée de rendement lumineux, ce qui est préférable à de nombreuses applications, puisque c'est généralement plus acceptable pour les occupants. Étant donné leur coût, les ballasts de gradation sont une option plus dispendieuse que les interrupteurs, mais permettent de faire de meilleures économies d'énergie.

Contrôle par interrupteur

Un système d'interrupteur peut être à deux niveaux (marche, arrêt, rendement de 50 %), selon les ballasts à circuits séparés de chaque luminaire ou des luminaires sélectionnés à circuits séparés, ou à multiples niveaux (marche, arrêt, 66 % et 33 %), selon les ballasts à circuits séparés qui font fonctionner les lampes dans les luminaires à trois lampes.

Les avantages des interrupteurs comprennent un coût initial plus faible, ainsi qu'une conception et une commissioning plus simples. Les inconvénients sont les économies d'énergie moins élevées et moins de flexibilité comparativement à la gradation continue.

Dans les espaces occupés, les interrupteurs à multiples niveaux peuvent être préférables aux interrupteurs marche-arrêt, parce qu'ils permettent de faire de petits changements sur le plan du rendement lumineux. Pour ce qui est des applications pour les plafonds hauts, les utilisateurs ne remarquent généralement pas les changements relatifs au niveau d'éclairage s'ils correspondent à moins d'un tiers du niveau d'éclairage courant.

- **Installer des ballasts adressables :** Si un réaménagement majeur du système d'éclairage est planifié, une option à considérer est d'installer de nouveaux luminaires dotés de ballasts adressables, ou d'en équiper vos anciens luminaires. Ces systèmes permettent une utilisation optimale de la lumière naturelle, en plus d'offrir des niveaux d'éclairage localisé appropriés et des contrôles d'occupation et d'inoccupation.
- **Installer un éclairage DEL :** Lorsque les luminaires DEL ont été mis sur le marché pour la première fois, ils étaient dispendieux et offraient un choix limité de couleur et d'intensité. Grâce aux percées en matière de technologie et de fabrication de lampes DEL, cependant, on a réussi à produire des luminaires à faible coût proposant des éventails de couleurs et un rendement lumineux adéquats. De plus, on estime que la durée de vie des lampes DEL est de 50 000 heures, en comparaison de 24 000 à 36 000 heures pour les lampes fluorescentes compactes et 18 000 heures pour les lampes à DHI en hauteur. Les coûts de remplacement des lampes sont une considération importante au moment d'évaluer l'application des luminaires DEL en tant qu'option de réaménagement. Les luminaires DEL sont désormais des options acceptables pour remplacer les luminaires à lampe à incandescence et, dans certains cas, à lampe fluorescente ainsi que l'éclairage extérieur.

Cependant, au moment de la publication du présent document, la technologie DEL en tant que source de remplacement pour l'éclairage de zone dans les bureaux était encore trop dispendieuse, même si les percées dans le domaine de la fabrication de sources d'éclairage et de luminaires sont en train de combler rapidement cette lacune liée au coût. Étant donné l'évolution rapide de cette technologie, les options DEL devraient être abordées avec votre concepteur de système d'éclairage.



PARTIE 1

- **Ajouter un système central de contrôle de l'éclairage** : Dans les bâtiments qui n'ont pas de système de contrôle de l'éclairage et où on compte sur les occupants pour éteindre les lumières, il serait bon de considérer l'ajout d'un système de contrôle central de l'éclairage. Lorsque c'est possible, l'éclairage devrait être allumé au début de la journée par les premiers occupants qui arrivent et ne devrait pas être contrôlé par un signal MARCHE automatique. Les pratiques exemplaires suggèrent aussi de programmer l'arrêt complet aussitôt que possible après les heures d'occupation normales ainsi que d'éclairer par zone afin de permettre d'allumer manuellement un éclairage minimal pour le nombre réduit d'occupants qui restent ou reviennent après les heures normales de travail. L'éclairage par zone nécessite l'installation d'interrupteurs accessibles aux occupants pour que cette stratégie porte ses fruits. Afin d'éliminer le risque de laisser des lumières allumées toute la nuit, des signaux d'arrêt périodiques (p. ex., toutes les heures) peuvent être programmés. De telles stratégies de contrôle exigent de former les occupants afin de soutenir les objectifs du programme de conservation et d'offrir les éléments de confort et de sécurité nécessaires aux employés qui travaillent après les heures normales de travail.

Réduction des charges supplémentaires

Les sources des charges supplémentaires sont des facteurs de contribution secondaires à la consommation d'énergie dans les bâtiments (les occupants, les ordinateurs et l'équipement, le bâtiment en soi, etc.). Ces charges peuvent avoir un effet négatif sur les charges de chauffage, de refroidissement et électriques. Cependant, leur effet peut être contrôlé et réduit au moyen d'une planification stratégique, de l'engagement des occupants et d'améliorations écoénergétiques. Grâce à une analyse rigoureuse de ces sources et de leurs interactions avec les systèmes de CVCA, la taille de l'équipement de chauffage et de refroidissement et les coûts des améliorations peuvent être réduits. Ces améliorations peuvent diminuer directement la perte d'énergie et permettre de faire des économies d'énergie additionnelles à partir du système de CVCA.

Les charges supplémentaires peuvent être diminuées en réduisant la consommation d'énergie de l'équipement et en améliorant l'enveloppe du bâtiment afin de lui conférer une résistance thermique accrue.

Charges électriques et équipement

La section qui suit traite des équipements et des appareils utilisés par les occupants (ceux qui sont situés aux postes de travail individuels ou dans les aires communes, par exemple, les cuisines) et des transformateurs de distribution électrique.

Liste des mesures relatives aux charges supplémentaires (charges électriques et équipement)

- ✓ Éteindre l'équipement lorsqu'il n'est pas utilisé
- ✓ Choisir un équipement ENERGY STAR
- ✓ Éliminer les appareils électriques personnels
- ✓ Mettre en œuvre un programme de sensibilisation des employés à la consommation d'énergie
- ✓ Installer des transformateurs à haute efficacité
- ✓ Considérer la réalisation de travaux de réaménagement dans les centres de traitement des données

1 PARTIE

Pour plus de renseignements sur les produits ENERGY STAR, visitez le site ENERGY STAR au Canada de RNCAN : rncan.gc.ca/energie/produits/energystar/12520.

- **Éteindre l'équipement lorsqu'il n'est pas utilisé :** La première étape pour réaliser des économies d'énergie consiste à éteindre l'équipement et les appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés. En ce qui a trait aux ordinateurs et aux moniteurs, les réglages de la gestion de la consommation d'énergie peuvent être effectués de façon à provoquer la fermeture automatique à l'aide d'une de ces approches :
 - ▶ Les employés activent les fonctions existantes de gestion de la consommation d'énergie sur leurs ordinateurs et ferment leurs ordinateurs pour la nuit.
 - ▶ Le service de TI développe et implante des scripts de connexion qui contrôlent les réglages de la gestion d'énergie.
 - ▶ Un logiciel tiers implante une politique de gestion d'énergie d'ordinateur dans le réseau de l'entreprise.
- **Choisir un équipement ENERGY STAR :** Les produits recommandés par ENERGY STAR consomment de 25 % à 50 % moins d'énergie que leurs homologues traditionnels. Les équipements de bureau homologués ENERGY STAR permettent d'économiser énergie et argent en entrant en mode « sommeil » ou en s'éteignant lorsqu'ils ne sont pas utilisés, et en fonctionnant plus efficacement lorsqu'ils sont utilisés. En spécifiant les produits écoénergétiques au moment de l'achat, les organisations peuvent réduire leur consommation d'énergie électrique et leurs charges de refroidissement des locaux. La mise en vigueur d'une politique peut être aussi simple que de demander au personnel d'approvisionnement de spécifier les produits homologués ENERGY STAR, par exemple les équipements de bureau, les appareils électroniques, les luminaires et les lampes.
- **Éliminer les appareils électriques personnels :** On trouve désormais dans les bureaux un nombre croissant d'appareils personnels énergivores qui ne sont pas homologués ENERGY STAR (cafetières, réchauds, ventilateurs, chaufferettes, équipement audio, périphériques d'ordinateurs, etc.). Bien que chacun de ces appareils ne demande qu'une petite quantité individuelle d'énergie, la demande peut être importante au total. Les entreprises peuvent mettre en place des politiques qui découragent les employés à utiliser ce genre d'appareils ou qui les sensibilisent à propos de leur utilisation judicieuse, par exemple éteindre les appareils ou les débrancher lorsqu'ils ne sont pas utilisés.
- **Mettre en œuvre un programme de sensibilisation des employés à la consommation d'énergie :** RNCAN a produit le document *Mise en œuvre d'un programme de sensibilisation à l'efficacité énergétique*³⁰, qui peut aider les propriétaires et les gestionnaires à élaborer des programmes efficaces de sensibilisation à la consommation d'énergie à l'intention du personnel. Les *ENERGY STAR Guidelines for Energy Management* (en anglais seulement) sont une autre ressource utile³¹. Ces lignes directrices expliquent comment créer un plan de communication et donnent des idées, des exemples et des modèles personnalisables pour aider à communiquer le message au personnel, aux clients et aux intéressés.

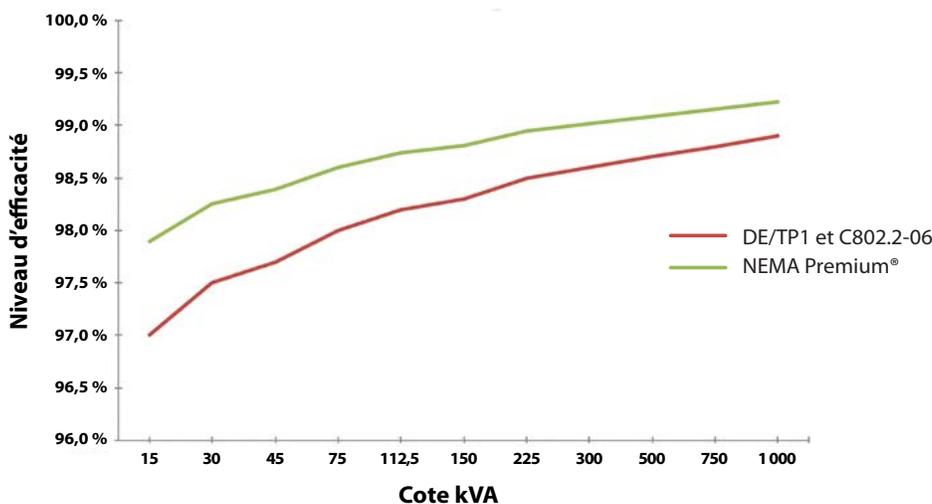
30 publications.gc.ca/collections/collection_2013/rncan-nrcan/M144-244-2012-fra.pdf.

31 energystar.gov/buildings/about-us/how-can-we-help-you/build-energy-program/guidelines (en anglais seulement).

1 PARTIE

- **Installer des transformateurs à haute efficacité :** Remplacez les transformateurs existants à la fin de leur vie utile par des transformateurs à haute efficacité. Au cours des dernières années, les normes d'efficacité énergétique applicables aux transformateurs en Amérique du Nord ont évolué rapidement. Par conséquent, les fabricants offrent plus de transformateurs écoénergétiques qui ont moins de pertes que les anciens modèles. La nouvelle norme d'efficacité énergétique de la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) pour les transformateurs, la CSA C802, prescrit 30 % moins de pertes que la norme précédente. La figure 8 montre l'efficacité relative des transformateurs standards en comparaison des transformateurs à haute efficacité de la NEMA.

Figure 8. Niveaux d'efficacité des appareils standards en comparaison des appareils écoénergétiques de la NEMA



Les avantages découlant du remplacement des transformateurs standards par des modèles écoénergétiques comprennent la diminution des pertes lors du processus de transformation électrique et la réduction des charges de refroidissement dans les pièces où les transformateurs sont installés.

Le remplacement d'un seul transformateur de 75 kVA (efficacité de 98 %) par un transformateur écoénergétique de la NEMA (efficacité de 98,6 %) permet de réduire les pertes annuelles d'environ 30 %, selon un fonctionnement de 260 jours/année, une charge de 15 % sur 16 heures/jour et une charge de 100 % sur 8 heures/jour³².

- **Considérer la réalisation de travaux de réaménagement dans les centres de traitement des données :** Le centre de traitement des données moyen est de 10 à 100 fois plus énergivore qu'un immeuble de bureaux type. Moins de la moitié de l'énergie consommée par un centre de traitement des données type sert à alimenter son équipement de TI; le reste de l'énergie est consommée par les systèmes de climatisation, l'inefficacité de l'alimentation sans coupure (ASC), les pertes de distribution du courant et l'éclairage. La mesure et l'analyse comparative continues de la consommation d'énergie sont des activités critiques pour déterminer l'efficacité de votre centre de traitement des données, définir

³² Calculateur d'économies d'énergie de Hammond Power Solutions, hpstoolbox.com/ (en anglais seulement).

1 PARTIE

En plus des possibilités de réaménagements énergétiques, il existe des possibilités concernant l'amélioration de l'efficacité énergétique des **centres de traitement des données**, par exemple, installer des serveurs homologués ENERGY STAR, concevoir des aménagements favorisant l'économie d'énergie (p. ex., configuration des couloirs froids et des couloirs chauds) et optimiser l'utilisation des serveurs grâce à la consolidation et la virtualisation.

Pour de plus amples renseignements :
<http://www.rncan.gc.ca/energie/produits/categories/centres-donnees/13744>.

les meilleures stratégies et établir une distinction par rapport aux données sur l'énergie de votre bâtiment. Au fur et à mesure que de nouvelles stratégies sont mises en œuvre, l'analyse comparative permettra d'effectuer des comparaisons du rendement pour valider les améliorations et appuyer une optimisation future.

Grâce aux pratiques exemplaires modernes, il est possible de réaliser des économies d'énergie de 20 % à 50 % et de prolonger la durée de vie et la capacité de l'infrastructure des centres de traitement des données existants. Voici quelques-unes des possibilités de réaménagement :

- *Optimisation de la température spatiale* – La température spatiale devrait être conçue pour l'équipement et non le personnel. La publication de l'ASHRAE, *Thermal Guidelines for Data Processing Environments*³³, énonce des recommandations concernant les débits d'air, la filtration, l'humidité et la température. L'éventail permis pour les températures liées à l'équipement de TI est de 15 °C à 31 °C, tandis que la norme ASHRAE 55 recommande un éventail de 20 °C à 27 °C pour le confort des occupants (voir la page 41).
- *Optimisation de la centrale* – En général, une centrale de refroidissement et des centrales de traitement de l'air (CTA) sont plus efficaces que des unités distribuées de climatisation de l'air. Commencez par un refroidisseur d'eau à vitesse variable efficace, ajoutez-y des CTA à haute efficacité et des composants à faible perte de pression et terminez par un système de contrôle intégré, qui minimise la déshumidification inutile et le chauffage et le refroidissement simultanés. Utilisez une réinitialisation de température pour permettre l'utilisation d'eau refroidie à température moyenne (13 °C ou plus). L'eau refroidie plus chaude améliore l'efficacité du système de refroidissement et élimine la nécessité de faire fonctionner le refroidisseur pendant plusieurs heures (refroidissement par la tour). Il est aussi possible, dépendant de la saison, de récupérer la chaleur à partir du refroidisseur afin de chauffer le reste du bâtiment durant la saison de chauffage.
- *Refroidissement naturel* – Pourvu que les conditions de température et d'humidité puissent être satisfaites, le refroidissement naturel devrait être considéré et peut se réaliser grâce à l'utilisation directe de l'air extérieur ou d'un économiseur à l'eau.
- *Réduction à une capacité appropriée* – Les systèmes de refroidissement des centres de traitement des données sont souvent surdimensionnés pour répondre aux charges futures ou incertaines. Par conséquent, ils fonctionnent souvent à des charges partielles inefficaces. Il est donc judicieux de concevoir la croissance modulaire de cet équipement mécanique. Incluez des ventilateurs, des pompes et des compresseurs à vitesse variable et installez de l'équipement de capacité appropriée. L'installation de systèmes en tenant compte des besoins futurs plutôt que réels fait en sorte que bon nombre de sous-systèmes fonctionnent inefficacement.
- *Refroidissement par liquide des supports et des serveurs* – Sur la base du volume, l'eau peut être jusqu'à 3 500 fois plus efficace que l'air et refroidit les serveurs et les appareils ménagers plus efficacement que l'air climatisé. Les supports et les serveurs refroidis par liquide destinés aux centres de traitement des données de densité plus importante sont actuellement offerts par un petit nombre de

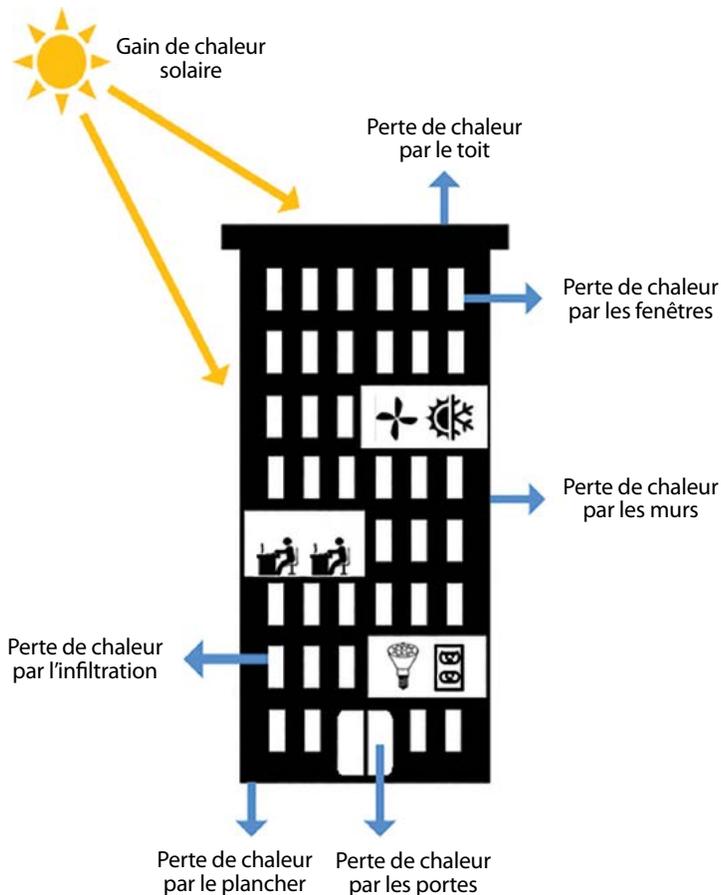
33 ASHRAE, ashrae.org/resources--publications/bookstore/datacom-series#thermalguidelines (en anglais seulement).

fabricants. Au fur et à mesure que la technologie s'améliore, ce procédé sera de plus en plus accepté sur le marché.

Enveloppe

La section qui suit décrit les options possibles pour améliorer l'enveloppe du bâtiment (toit, murs, fondation, portes et fenêtres). Les paramètres les plus communs ayant une incidence sur le flux thermique traversant l'enveloppe du bâtiment sont la conduction, le rayonnement solaire et l'infiltration. La conduction a trait à la conductivité des matériaux de l'assemblage de l'enveloppe et à leur capacité de conduire un simple flux thermique de chaud à froid ou d'y résister. Le rendement de la résistance au flux thermique est souvent exprimé en valeurs RSI ou en valeurs R (voir l'encadré). Le rayonnement solaire procure les gains thermiques souhaités au moyen des fenêtres durant la saison de chauffage et les gains de chaleur non souhaités durant la saison de refroidissement. L'infiltration a trait aux fuites d'air par les éléments du bâtiment, par exemple autour des fenêtres, des portes, des intersections de l'enveloppe, des points de pénétration physique et des ouvertures mécaniques. La figure 9 montre comment la chaleur entre dans un bâtiment et en sort par l'enveloppe.

Figure 9. Transfert thermique par l'enveloppe du bâtiment



1 PARTIE

La valeur RSI (valeur R du système international) pour l'isolation est une mesure de la résistance thermique d'un matériau.

La valeur RSI est calculée en $m^2 \cdot K/W$.

La valeur R est calculée en $pi. ca. \cdot ^\circ F \cdot h/Btu$.

Conversion :

$$RSI = R \div 5,678$$

$$R = RSI \times 5,678$$

$$1 \text{ RSI} = R-5,678$$



Pour en savoir plus sur la construction de l'enveloppe du bâtiment en général, et sur les ponts thermiques en particulier, consultez le document préparé par Morrison Hershfield Ltd., *Building Envelope Thermal Bridging Guide*, disponible à [BC Hydro](#) (en anglais seulement).

1 PARTIE

La norme de l'ASTM*, énoncée dans l'*International Energy Conservation Code* de 2012 (IECC) et l'*International Green Construction Code* (IGCC), prescrit que le taux d'infiltration d'un bâtiment ne doit pas dépasser 2 l/s par mètre carré de surface murale (0,4 pied cube par minute par pied carré de surface murale) à un écart de pression de 75 Pa (colonne d'eau de 0,3 pouces).

*ASTM (anciennement American Society for Testing and Materials) est une organisation qui aide les entreprises à élaborer et mettre en œuvre des normes de consensus volontaires à l'échelle internationale.

La conduction est largement prise en compte par la quantité et la qualité des matériaux isolants et la réduction des ponts thermiques. Le rayonnement solaire est contrôlé par le coefficient de gain de chaleur solaire des fenêtres ou des éléments tels que les stores, les avant-toits et les auvents. L'infiltration est prise en compte par les pare-air et la qualité des joints d'étanchéité autour des ouvertures de l'enveloppe et la qualité des coupe-froid pour les ouvertures mobiles (portes et fenêtres, vide-ordures, registres d'entrée et de sortie lorsque fermés, pénétrations de l'enveloppe [p. ex., balcons], etc.).

Liste des mesures relatives aux charges supplémentaires (enveloppe)

- ✓ Réduire l'infiltration
- ✓ Ajouter un pare-air
- ✓ Ajouter des matériaux isolants
- ✓ Améliorer les portes et fenêtres
- ✓ Considérer l'option d'un toit blanc

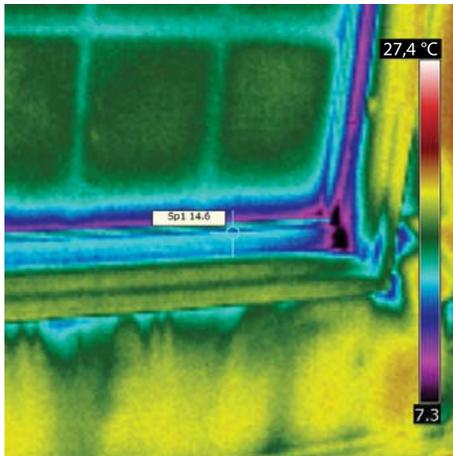
■ **Réduire l'infiltration** : L'infiltration, ou les fuites d'air, est le flux d'air incontrôlé qui traverse l'enveloppe (que ce soit l'air extérieur qui entre ou l'air conditionné qui sort). Les concepteurs savent que le problème existe, mais la plupart d'entre eux l'ignorent ou en tiennent compte lors de la conception des systèmes de chauffage et de refroidissement. Selon une étude américaine, l'infiltration est responsable d'environ 15 % de la charge de chauffage et de 4 % de la charge de refroidissement dans les immeubles de bureaux³⁴.

L'infiltration peut aussi être aggravée par un bâtiment pressurisé positivement ou négativement. On peut s'apercevoir des effets de la pressurisation d'un bâtiment lorsqu'on ouvre une porte : un flux d'air distinct sera ressenti soit en entrant dans le bâtiment, soit en sortant. La pression d'un bâtiment devrait être neutre ou très légèrement positive. Cette condition peut se vérifier par la mesure des flux d'air d'alimentation et d'air évacué à l'aide d'un balancement d'air. Les déséquilibres peuvent être corrigés en tenant compte des écarts entre les flux d'air d'alimentation et d'air évacué.

Certains signes d'infiltration sont évidents, tels que la lumière de l'extérieur observable autour d'une porte fermée; pour déterminer les autres signes, il faudra peut-être utiliser l'imagerie thermique, qui permet de visualiser les écarts de température. La figure 10 montre comment l'imagerie infrarouge peut aider à détecter les problèmes d'infiltration ou de faiblesse thermique de l'enveloppe (observez la température de surface basse associée à certaines parties de la fenêtre, du cadre de fenêtre et la structure de l'encadrement autour et dessous de la fenêtre).

34 Emmerich, S. J., et A. K. Persily. 1998. *Energy Impacts of Infiltration & Ventilation in U.S. Office Buildings Using Multizone Airflow Simulation*. Proceedings of the Indoor Air Quality and Energy 98 Conference.

Figure 10. Imagerie infrarouge montrant une fuite autour d'une fenêtre



Les poires à fumée sont un autre outil utilisé pour détecter les zones de fuite. Lorsque la poire est tenue près d'une fuite possible, le mouvement de la fumée indiquera s'il y a réellement une fuite ou non. Le bâtiment doit être pressurisé afin que cet outil de détection soit efficace.

L'infiltration peut être aggravée par l'effet de cheminée, qui est causé par de l'air chaud qui monte dans le bâtiment et qui s'échappe par les ouvertures situées au sommet de celui-ci. L'air chaud qui monte crée une pression négative à la base du bâtiment, tirant l'air extérieur dans les ouvertures et les zones de fuite. L'effet de cheminée s'inverse durant la saison de refroidissement, mais l'incidence est minimale en comparaison de la saison de chauffage. La portée de l'effet de cheminée est déterminée par la hauteur du bâtiment, la vitesse du vent et la qualité de l'étanchéité près du sommet du bâtiment. Les gaines d'ascenseur et les cages d'escalier constituent un chemin à faible résistance pour l'air montant; il est donc impératif que les zones de pénétration telles que les trappes de toit et les portes d'accès au toit soient bien étanchées.

La réparation des infiltrations est habituellement une mesure à faible coût, qui nécessite souvent l'ajout ou le remplacement de coupe-froid ou du calfeutrage. L'infiltration d'air peut provoquer de la condensation et de l'accumulation d'humidité et peut aussi être une indication que de l'eau s'infiltré dans l'enveloppe du bâtiment. Ces deux problèmes peuvent entraîner la formation de moisissure et, dans certains cas, des dommages structuraux aux composants de l'enveloppe. Ce risque additionnel accroît l'importance de corriger ces déficiences. Un professionnel en science du bâtiment (ingénieur ou architecte) devrait être embauché pour faire les diagnostics à propos de l'enveloppe, qui sont nécessaires pour réparer correctement toutes les infiltrations d'air et d'eau, quelle que soit leur source.

1 PARTIE

- **Ajouter un pare-air :** Bien qu'elle soit moins évidente que les sources d'infiltration mentionnées plus haut, la présence d'un pare-air entourant l'enveloppe du bâtiment est essentielle à une étanchéité adéquate. Un système de pare-air efficace fournit une protection contre les fuites d'air et la diffusion d'air attribuable au vent, à l'effet de cheminée et aux écarts de pression causés par l'introduction mécanique d'air dans le bâtiment ou l'enlèvement mécanique d'air du bâtiment. Les bâtiments dotés d'un système de pare-air bien installé peuvent fonctionner efficacement avec un plus petit système de CVCA, parce que le système mécanique n'a pas à compenser les fuites. Dans certains cas, la réduction de la taille de l'équipement mécanique et la diminution de son coût peuvent compenser le coût d'un système de pare-air. Les bâtiments qui n'ont pas de pare-air – ou qui en ont, mais qui sont inefficaces – courent le risque de voir la durée de vie utile de leur enveloppe diminuer, ce qui nuit au confort des occupants et augmente les coûts d'énergie.

Les pare-air peuvent être installés à l'extérieur d'un bâtiment à l'aide de plusieurs approches. Les matériaux pour pare-air et pare-eau combinés font partie des approches les plus communes. Les habillages de bâtiment appliqués mécaniquement, les membranes autoadhérentes et les membranes appliquées à l'aide de fluide peuvent aussi être utilisés comme pare-air et pare-eau pour les murs extérieurs.

Les membranes appliquées à l'aide de fluide sont souvent l'approche privilégiée pour les pare-air, en raison de leurs détails simples et de leur facilité relative d'installation en comparaison de l'installation de matériaux en feuilles. Les membranes appliquées à l'aide de fluide pour les pare-air et les pare-eau sont utilisées depuis longtemps dans les systèmes d'isolation des façades avec enduit (SIFE) et deviennent de plus en plus communes avec d'autres types de gaines extérieures.

L'isolation et l'ajout d'un pare-air ou l'amélioration de sa continuité ont une incidence beaucoup plus grande sur les économies d'énergie que le simple ajout d'un élément d'isolation. Par exemple, dans une étude, un bâtiment de 5 000 m² situé à Toronto affichant un taux d'infiltration de référence de 7,9 l/s/m² (1,55 pi. cu./min/pi. ca.) rénové avec une couche isolante de 50 mm (2 po) sans aucune amélioration apportée au pare-air a donné une amélioration écoénergétique de seulement 4 %. En comparaison, en ajoutant la même couche isolante et en réduisant le taux d'infiltration à 2,0 l/s/m² (0,4 pi. cu./min/pi. ca.), on a obtenu une amélioration écoénergétique de 37 %³⁵.

³⁵ Norris, Chris, 2014. energy-manager.ca/feature-articles/the-beneficial-energy-conservation-effect-of-air-barriers.html (en anglais seulement).

1 PARTIE

■ Ajouter des matériaux isolants :

Isolation du toit

Étant donné que le toit d'un bâtiment peut être une source majeure de perte et de gain de chaleur, la meilleure façon de réduire le transfert de chaleur par le toit est d'ajouter des matériaux isolants. L'ajout de matériaux isolants peut s'effectuer sans déranger les occupants du bâtiment et constitue une option qui devrait être examinée lorsque le cycle de vie suggère un remplacement du toit. Une analyse énergétique peut démontrer que les économies d'énergie sont assez importantes pour justifier le remplacement prématuré du toit afin d'ajouter des matériaux isolants.

Isolation des murs

On peut ajouter des matériaux isolants dans les cavités murales ou à l'enveloppe extérieure d'un bâtiment. L'ajout de matériaux isolants à l'enveloppe extérieure est la méthode la plus commune, étant donné la complexité et la nature interruptive de l'isolation par l'intérieur. De plus, une couche d'isolation continue à l'extérieur de l'ossature des murs comporte un rendement supérieur par rapport à une couche d'isolation non continue dans les cavités murales. L'ajout de matériaux isolants aux murs est souvent combiné au remplacement des fenêtres, étant donné que les baies de fenêtre ont parfois besoin d'être « délogées » pour convenir à l'augmentation de la profondeur de l'assemblage mural.

■ Améliorer les portes et fenêtres :

Fenêtres

Les fenêtres ont une incidence sur les coûts d'exploitation d'un bâtiment et sur la santé, la productivité et le bien-être des occupants. Non seulement elles ont une influence dominante sur l'apparence et l'environnement intérieur d'un bâtiment, mais elles peuvent aussi constituer un des composants les plus importants à avoir une incidence sur la consommation d'énergie et la demande d'électricité de pointe.

Les gains et les pertes de chaleur par les fenêtres peuvent représenter une portion importante des charges de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment. L'utilisation de la lumière naturelle peut réduire les charges d'éclairage électrique et améliorer l'environnement intérieur. Par conséquent, au moment de donner les spécifications ayant trait au remplacement des fenêtres, la qualité de la lumière introduite dans les bâtiments ainsi que le rendement thermique doivent être considérés.

Le taux de perte de chaleur par une fenêtre est exprimé en facteur U. Plus le facteur U est bas, plus la résistance de la fenêtre (valeur RSI) au flux thermique est élevée, et meilleures sont ses propriétés isolantes.

Parmi tous les composants d'une enveloppe de bâtiment, ce sont les fenêtres qui ont le plus faible rendement thermique. Même les meilleures fenêtres possèdent des valeurs RSI inférieures aux pires murs et aux pires toits. En outre, les fenêtres représentent une source commune de fuite d'air, ce qui fait qu'elles sont la plus importante source de perte et de gain de chaleur non souhaités dans les bâtiments.

Dans la perspective du cycle de vie, le **meilleur moment pour augmenter les niveaux d'isolation du toit** est lors de son remplacement. En procédant ainsi, on a l'avantage d'intégrer le coût d'investissement dans le plan de gestion des actifs du bâtiment et d'isoler le coût différentiel de l'isolation additionnelle pour l'analyse des coûts-avantages des réaménagements énergétiques.

CNÉB de 2011 – Valeurs RSI minimales pour les murs et le toit pour les zones climatiques 5, 6 et 7 :

Zone 5

(p. ex., Vancouver, Toronto)

Murs 3,597 m²•K/W (R-20)

Toit 5,464 m²•K/W (R-31)

Zone 6

(p. ex., Ottawa, Montréal)

Murs 4,049 m²•K/W (R-23)

Toit 5,464 m²•K/W (R-31)

Zone 7A

(p. ex., Edmonton)

Murs 4,762 m²•K/W (R-27)

Toit 6,173 m²•K/W (R-35)

1 PARTIE



Exemple :

Telus William Farrell
Vancouver (Colombie-Britannique)
(certification LEED Or pour les bâtiments existants)

Le bâtiment Telus a reçu un revêtement extérieur en verre installé à près d'un mètre du bâtiment existant. La façade crée un espace d'air pratique pour l'isolation qui agit comme une zone-tampon thermique et facilite la ventilation naturelle. Les ventilateurs d'extraction alimentés par des cellules photovoltaïques s'ajustent automatiquement pour modérer la température intérieure du bâtiment. Les fenêtres s'ouvrent manuellement, offrant aux employés un confort additionnel et la possibilité de gérer eux-mêmes leur environnement de travail.

Source : Sauder School of Business, University of British Columbia. 2010.

Choix de fenêtres

Dans toutes les zones climatiques du Canada, les besoins sont dominés par le chauffage plutôt que le refroidissement. Ainsi, vos fenêtres devraient être choisies en fonction des critères suivants :

- **Minimiser la perte de chaleur** en choisissant la valeur U la plus faible (valeur RSI la plus élevée) pour l'assemblage entier.
- **Minimiser l'émissivité des fenêtres** en choisissant des fenêtres à faible émissivité afin de minimiser le rayonnement thermique.
- **Contrôler les gains de chaleur solaire** – Le coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS) peut différer selon l'orientation afin de permettre des gains solaires bénéfiques d'un côté (p. ex., mur orienté au sud avec un CGCS de 0,6), tout en limitant les gains solaires des autres côtés (p. ex., murs orientés à l'est et à l'ouest avec un CGCS de 0,25) pour assurer le confort des occupants au début et à la fin de la journée.
- **Maximiser la transmittance de la lumière visible** (T_{VIS}) de l'éclairage naturel³⁶.

L'encadré à la page 35 présente une discussion plus détaillée sur chacun de ces critères, ainsi que sur les divers assemblages et composants.

Portes

Les portes peuvent être considérées de la même façon que les fenêtres mobiles, en ce sens qu'elles se composent typiquement de sections opaques isolantes et d'unités de vitrage isolant (UVI) et qu'il y a souvent des zones importantes de fuite d'air entre les éléments fixes et les éléments mobiles. Les portes modernes possèdent des propriétés thermiques supérieures et sont dotées de meilleurs coupe-froid.

Conformément à la voie prescriptive du CNÉB, les bâtiments neufs doivent être conçus avec des vestibules et des dispositifs de fermeture automatique pour toutes les portes d'entrée ordinaires. Étant donné que les avantages liés aux économies d'énergie et au confort s'appliquent aux bâtiments existants, des vestibules devraient être ajoutés lorsque c'est faisable.

Quais de chargement

Les portes sectionnelles des quais de chargement peuvent être une importante source de perte de chaleur en raison des mauvaises propriétés thermiques des portes, des infiltrations et des pratiques opérationnelles. Ces dernières années, les portes des quais de chargement ont été grandement améliorées, et il est recommandé que l'état des portes existantes soit examiné pour déterminer si un remplacement permettrait de corriger les problèmes associés au mauvais rendement.

36 Le CGCS influencera la T_{VIS} résultante; plus le CGCS est faible, plus la T_{VIS} sera basse. Autrement dit, un ombrage accru pour éviter les gains de chaleur diminue la T_{VIS} .

1

PARTIE

Une analyse de rentabilisation encore plus convaincante recommande de considérer les joints d'étanchéité et les abris des quais, puisqu'ils constituent un obstacle environnemental qui réduit considérablement les infiltrations. Les joints et les abris peuvent être facilement renouvelés à l'extérieur du bâtiment pour économiser l'énergie.

- **Considérer l'option d'un toit blanc :** Un « toit blanc » fait dériver la chaleur solaire loin du toit, plutôt que la transférer à la masse du bâtiment. Les toits blancs augmentent le confort des occupants en gardant le bâtiment plus frais durant l'été; par conséquent, les besoins de climatisation de l'air sont diminués, ce qui permet d'économiser sur les coûts énergétiques associés à la climatisation de l'air. De plus, un toit blanc réfléchissant reçoit une charge solaire moins grande sur la membrane, ce qui pourrait augmenter sa durée de vie utile. Cependant, sous un climat dominé par le chauffage, le pendant des économies d'énergie associées à la climatisation de l'air est la perte de gains de chaleur bénéfiques durant la saison de chauffage. Les résultats dépendent généralement du site, en fonction de facteurs tels que l'inclinaison du toit et la charge de neige. Pour en savoir plus sur les toits blancs, consultez le coolroofs.org (en anglais seulement).

Fenêtres : Perte de chaleur

Le facteur U d'une fenêtre peut servir de référence pour l'assemblage entier de la fenêtre ou seulement pour l'unité de vitrage isolant (UVI). La méthode d'évaluation reconnue à l'échelle nationale par le National Fenestration Rating Council (NFRC) s'applique à la fenêtre entière, y compris le vitrage, le cadre et les intercalaires. Même si le facteur U du centre du vitrage sert aussi parfois de référence, il ne décrit que le rendement du vitrage sans les effets du cadre. Les facteurs U de l'assemblage sont plus élevés que ceux du centre du vitrage en raison de la transmission à la bordure du vitrage et des propriétés isolantes limitées du cadre. Les fenêtres à double vitrage haute performance peuvent avoir des facteurs U de $1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ($0,30 \text{ Btu/h-pi. ca. } \cdot \text{ }^\circ\text{F}$) ou inférieurs, tandis que les fenêtres à triple vitrage peuvent avoir des facteurs U aussi bas que $0,85 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ($0,15 \text{ Btu/h-pi. ca. } \cdot \text{ }^\circ\text{F}$).

Fenêtres – Assemblage

Les fenêtres comprennent deux principaux composants : l'UVI et le cadre.

Le rendement de l'UVI est déterminé par :

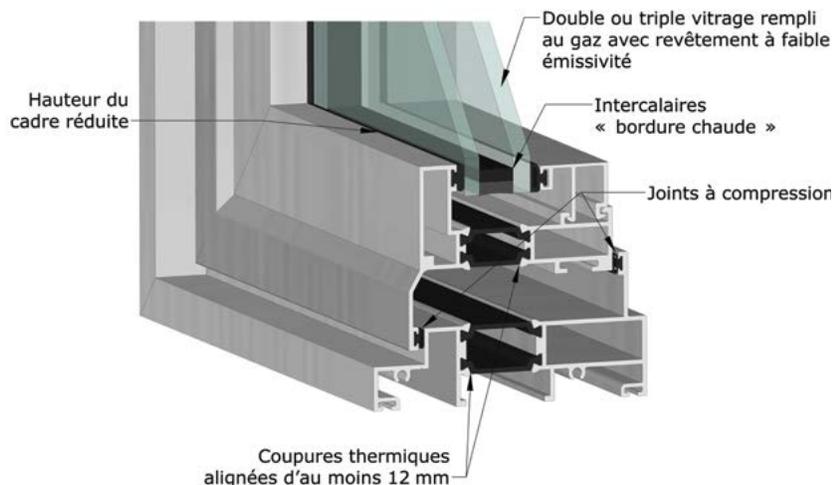
- le nombre de vitrages (double ou triple)
- la qualité des intercalaires entre les vitrages
- le type de revêtement (p. ex., faible émissivité)
- le type de gaz dans l'UVI scellée
- la profondeur de l'espacement entre les vitrages

Le rendement du cadre est déterminé par :

- le matériau du cadre (conducteur ou non)
- la conductivité thermique de l'intercalaire (rupture thermique ou non)

1 PARTIE

Figure 11. Caractéristiques d'une fenêtre écoénergétique



Fenêtres – Intercalaires isolants

En ce qui a trait aux UVI, elles utilisent généralement des intercalaires métalliques. Ils sont généralement faits d'aluminium, un matériau peu isolant, et les intercalaires utilisés dans les systèmes de bordure standards représentent un pont thermique important ou un « court-circuit » à la bordure de l'UVI. Cela réduit les avantages des vitrages améliorés. Les intercalaires de bordure chaude, faits de matériau isolant, sont un élément important des fenêtres écoénergétiques.

Fenêtres – Cadres

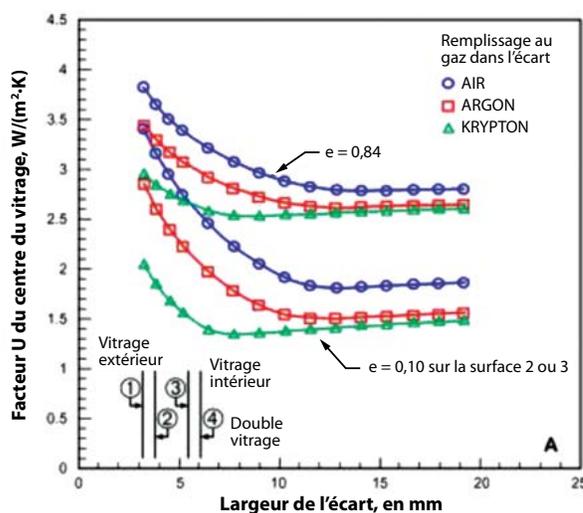
Le facteur U d'une fenêtre incorpore les propriétés thermiques du cadre et du vitrage. Étant donné que le châssis et le cadre représentent environ de 10 % à 30 % de la surface totale d'un assemblage de fenêtre, les propriétés du cadre influencent de façon importante le rendement général de la fenêtre.

Au minimum, les cadres doivent être à rupture thermique pour un climat froid. Le facteur U global d'un cadre d'aluminium est amélioré de presque 50 % lorsqu'il est à rupture thermique. Les cadres non métalliques, par exemple en bois, en vinyle ou en fibre de verre, peuvent améliorer le facteur U de 70 % en raison des propriétés non conductrices du matériau et de l'option d'injecter du matériau isolant dans les cavités du cadre.

Fenêtres – Gaz de remplissage

Les fabricants utilisent généralement des gaz de remplissage à l'argon ou au krypton, qui offrent une amélioration mesurable du rendement thermique de l'UVI. Ces deux gaz sont inertes, non toxiques, transparents et inodores. Le krypton a un meilleur rendement thermique que l'argon, mais est plus dispendieux. La figure 12 illustre le rendement relatif des gaz de remplissage à l'air, à l'argon et au krypton.

Figure 12. Rendement thermique des gaz de remplissage



Source : © ASHRAE Handbook – Fundamentals. 2013.
ashrae.org (en anglais seulement).

Fenêtres – Revêtements

Les revêtements de fenêtres peuvent avoir une incidence importante sur les charges de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment. Le rendement de ces revêtements est généralement exprimé à l'aide de deux paramètres associés : l'émissivité et le coefficient de gain de chaleur solaire.

L'émissivité est la capacité d'un matériau à émettre de l'énergie. Tous les matériaux, y compris ceux des fenêtres, émettent (ou rayonnent) de la chaleur. La réduction de l'émissivité d'une fenêtre peut améliorer considérablement ses propriétés isolantes.

Le verre transparent standard possède une émittance de 0,84, ce qui signifie qu'il émet 84 % de l'énergie possible et en reflète seulement 16 %. En comparaison, les revêtements en verre à faible émissivité peuvent avoir une émittance aussi basse que 0,04, émettant seulement 4 % de l'énergie et reflétant 96 % du rayonnement infrarouge à ondes longues. Une faible émittance réduit les pertes de chaleur l'hiver en reflétant la chaleur pour qu'elle retourne dans le bâtiment et réduit les charges de refroidissement l'été en reflétant la chaleur radiante loin du bâtiment.

1 PARTIE

Le coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS) est un rapport indiquant la quantité de chaleur solaire pouvant passer à travers le produit (gain d'énergie solaire). Plus le nombre est élevé, plus le gain d'énergie solaire est important. Le CGCS est un nombre situé entre 0 et 1. Les produits ayant un CGCS de moins de 0,30 sont considérés comme ayant un faible gain d'énergie solaire, tandis que ceux ayant un CGCS au-dessus de ce seuil sont considérés comme ayant un gain d'énergie solaire élevé.

Sous un climat dominé par le chauffage, les fenêtres ayant un faible CGCS mèneront à une baisse de charges en refroidissement, mais une hausse en besoins de chauffage en raison de la perte de gains de chaleur souhaités l'hiver. Dans certains cas, le CGCS peut varier en fonction de l'orientation du bâtiment. Par exemple, sur la façade ouest d'un bâtiment, le CGCS serait conçu pour être plus faible que sur la façade sud en raison de l'angle bas du soleil et de la charge solaire plus élevée en après-midi et le soir durant les mois d'été. Cela aura une incidence importante sur le confort des occupants travaillant sur la façade ouest. Enfin, le CGCS influencera la transmittance de la lumière visible (T_{VIS}) résultante; plus le CGCS est faible, plus la T_{VIS} sera basse. Autrement dit, un ombrage accru pour éviter les gains de chaleur diminue la T_{VIS} et la possibilité d'éclairage naturel qui en résulte.

Fenêtres – Technologies de pointe émergentes

Des technologies de vitrage émergentes sont désormais offertes, ou le seront sous peu. Les vitrages isolés sous vide améliorent le transfert thermique en abaissant les facteurs U. Les vitrages adaptables, comme ceux dotés de technologies électrochromiques, modifient les propriétés dynamiques pour contrôler les gains de chaleur solaire, la lumière naturelle, l'éblouissement et la vue. Les capteurs solaires à piles photovoltaïques intégrées faisant appel aux systèmes de fenestration qui génèrent de l'énergie peuvent aussi faire partie de l'enveloppe du bâtiment.

Recommandation : Pour déterminer quelles spécifications de fenêtres permettront de faire les meilleures économies d'énergie et procureront le meilleur confort aux occupants, il est recommandé de développer un modèle énergétique à l'échelle du bâtiment. Une fois que la géométrie du bâtiment, les propriétés thermiques et la configuration du système sont entrées dans le modèle, des spécifications de fenêtres différentes peuvent être mises à l'essai. Vous pouvez communiquer avec un spécialiste de la modélisation énergétique qui vous aidera à effectuer cette analyse.

1 PARTIE

Murs-rideaux et rideaux de verre

L'évaluation des murs-rideaux et des rideaux de verre (systèmes de vitrage) pour définir l'amélioration du rendement est similaire à l'évaluation des fenêtres. Les fenêtres n'ont qu'un vitrage pour la vision, tandis que les murs-rideaux et les rideaux de verre ont à la fois un vitrage pour la vision et des panneaux opaques (panneaux d'allèges) montés sur un système de cadre métallique. Le rendement thermique global est une fonction du panneau du vitrage (U_{VI}), du cadre, de la construction derrière le panneau d'allège et l'habillage des poteaux et des détails du périmètre ayant une incidence sur les fuites d'air.

Sur le périmètre du mur-rideau, la continuité de la barrière d'air permet de réduire les flux d'air autour du mur-rideau. L'intégration de solins sur le périmètre permet d'assurer une bonne étanchéité à l'eau du mur-rideau et son adhésion aux éléments du mur adjacent. L'application appropriée de matériau isolant sur le périmètre du mur-rideau permet de réduire la perte d'énergie et les problèmes éventuels de condensation.

La manière la plus efficace d'accroître le rendement d'un mur-rideau est d'évaluer le système entier, plutôt que d'évaluer le rendement des composants individuels. Par exemple, la valeur U de l'U_{VI} et le panneau d'allège ne sont pas les seuls facteurs à définir le rendement du système mural. La configuration du cadre (c.-à-d., ses dimensions) et le degré d'isolation thermique sont des facteurs très importants dans le rendement de l'assemblage entier.

Pour évaluer de façon appropriée les possibilités de remplacement des systèmes muraux à vitrage, la modélisation du rendement thermique, l'évaluation de la science du bâtiment et les simulations de la lumière naturelle devraient être incorporées.

1 PARTIE

Lorsque vous examinez les possibilités relatives au système de CVCA, il est important de réévaluer d'abord la conception originale du système afin de déterminer si sa capacité et sa configuration sont adéquates pour l'occupation actuelle.

Une étude de l'Environmental Protection Agency des États-Unis a révélé que près de 60 % des systèmes de ventilation des bâtiments étaient surdimensionnés dans une proportion d'au moins 10 %, le surdimensionnement moyen étant de 60 %. Réduire un système de ventilation à une capacité appropriée – soit améliorer la correspondance entre la capacité des ventilateurs et les besoins en matière de charge – est une mesure recommandée pour économiser l'énergie au moyen des systèmes de distribution de l'air.

Améliorations des systèmes de distribution de l'air

Le système de CVCA gère la température, l'humidité, la qualité et le mouvement de l'air dans les bâtiments, ce qui en fait un système critique pour le confort, la santé et la productivité des occupants.

Deux principaux types d'équipement distribuent l'air dans les bâtiments commerciaux :

- L'équipement de fournaises ou de ventilo-convecteur, qui consiste soit en systèmes intégrés spécialisés, soit en fournaises (petits bâtiments). L'air est conditionné à l'aide de serpentins d'eau chaude et d'eau refroidie ou d'échangeurs de chaleur à chauffage direct avec serpentins de refroidissement à évaporateur à détente directe.
- Les unités de toit sont le type de système de conditionnement de l'air le plus commun des bâtiments commerciaux; on en parle plus loin dans ce module.

Systemes à débit d'air constant par rapport aux systèmes à débit d'air variable

Les systèmes de traitement de l'air peuvent être soit à débit d'air constant, soit à débit d'air variable.

Systemes à débit d'air constant

Les systèmes à débit d'air constant (DAC) sont le type le plus simple de système de distribution de l'air et sont communs dans les bâtiments commerciaux existants. Lorsque le ventilateur d'alimentation est en marche, un flux d'air constant est soufflé. Il n'y a aucune modulation de la puissance du ventilateur ou de la décharge ni par le registre de distribution au ventilateur ni aux extrémités des gaines. Les systèmes à DAC conviennent pour conditionner un seul espace (appelé aussi une zone), mais sont moins efficaces pour conditionner plusieurs espaces ou zones d'occupation.

Dans certains cas, lorsqu'un système à DAC est installé pour la distribution multizone, il est conçu pour faire varier la température de l'air soufflé dans chaque zone. Pour répondre aux différentes charges de refroidissement, le « réchauffage terminal » ou le « réchauffage de zone » est fréquemment ajouté. Le système est dimensionné de façon à refroidir la zone possédant la charge de refroidissement de pointe, et dans toutes les zones ayant une charge moins importante, l'air est réchauffé au moment où il entre dans la zone. C'est inefficace, puisque le système effectue un chauffage et un refroidissement simultanés. Ces types de systèmes, par conséquent, sont des candidats de choix pour le remplacement dans le cadre de réaménagements énergétiques majeurs.

Systemes à débit d'air variable

Les systèmes à débit d'air variable (DAV) permettent de faire des économies d'énergie substantielles comparativement aux systèmes à DAC et sont plus fréquemment installés dans les bâtiments d'immeubles de bureaux. Dans un système à DAV, le réseau de gaines de la centrale de traitement de l'air distribue l'air à des boîtes de mélange dans de multiples zones dans tout le bâtiment. Le flux d'air est modulé dans ces boîtes soit par l'ouverture ou la fermeture de registres,



PARTIE 1

soit par les ventilateurs à l'intérieur de la boîte. Les systèmes à DAV modernes peuvent répondre aux exigences associées aux charges changeantes en modulant la quantité d'air chauffé ou refroidi qui circule dans l'espace conditionné, de façon à répondre aux charges variées. Combinée avec les entraînements à vitesse variable (EVV), cette réduction du flux permet de diminuer la puissance nécessaire du ventilateur, ce qui fait économiser l'énergie.

La conversion d'un système à DAC existant en un système à DAV est une option rentable pour de nombreux propriétaires de bâtiments, puisqu'elle permet au système de ralentir par lui-même en réponse à la demande changeante.

Confort et qualité de l'air

L'option la moins chère pour réduire la consommation d'énergie du système de CVCA est d'accroître les éventails acceptables pour la température et l'humidité intérieures, c'est-à-dire permettre aux taux de température et d'humidité de grimper durant les mois d'été et de baisser durant les mois d'hiver. En étudiant attentivement les besoins de confort thermique des occupants de chaque type d'espace, vous pouvez déterminer l'éventail acceptable de températures et d'humidité. Ces éventails de confort sont cités dans la norme ASHRAE 55³⁷.

Exemple d'éventail de confort prescrit par la norme ASHRAE 55

Les éventails de températures et d'humidité acceptables dépendent des niveaux d'activité et des vêtements. Il existe deux éventails de confort applicables à un environnement de bureau où les occupants ont habituellement des niveaux d'activité métabolique bas. Le premier équivaut à 1,0 clo (« clo » est une mesure de l'isolation des vêtements; 1,0 représente un costume trois pièces ou l'équivalent); le second équivaut à 0,5 (p. ex., jupe et blouse légère ou pantalon léger et chemise à manches courtes).

Par exemple, à 50 % d'humidité relative et à 1,0 clo, l'éventail de températures confortable se situe entre 20 °C et 25 °C. À 0,5 clo, il se situe entre 24 °C et 27 °C.

Vous devriez aussi considérer la qualité de l'air intérieur et la quantité d'air de ventilation requise par les occupants du bâtiment dans chaque type d'espace. Le conditionnement de l'air extérieur est une des tâches les plus énergivores qu'effectue le système de CVCA, alors votre première étape devrait consister à minimiser la quantité d'air extérieur devant être conditionné. Calculez la quantité d'air d'évacuation et de ventilation requise en fonction de la norme ASHRAE 62.1³⁸ à l'aide des taux d'occupation réels, plutôt que les taux d'occupation par défaut précisés dans la norme. Appliquez ensuite le contrôle de la demande en utilisant le CO₂ comme indicateur de l'occupation réelle. Le CO₂ peut être calculé au conduit de retour de l'unité de toit à l'aide du système de contrôle qui fournit un signal de réinitialisation au registre d'air extérieur pour s'ouvrir et se fermer en fonction de la quantité de CO₂ dans l'espace.

37 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. [ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-55](https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-55) (en anglais seulement).

38 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. [ashrae.org/resources--publications/bookstore/standards-62-1--62-2](https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standards-62-1--62-2) (en anglais seulement).

1 PARTIE

Réaménagements

L'approche recommandée est de commencer par l'évaluation des possibilités dans la zone (espace conditionné) et de remonter par la suite vers la CTA. Par exemple, dans un système à DAV, la réparation ou le remplacement des contrôles des registres de zone se traduira par un confort accru des occupants, d'une part, et par la diminution de la quantité d'air conditionné sollicitée de la CTA, d'autre part.

Au cours des dernières décennies, la conception des systèmes de CVCA des bâtiments a subi d'importantes modifications. Bon nombre de nouveaux systèmes sont conçus de façon à offrir une fonction à DAV, une efficacité accrue du système de renouvellement et de distribution de l'air et des contrôles supérieurs. Les systèmes dédiés à l'air extérieur sont aussi de plus en plus adoptés dans la conception de bâtiments plus avancée en tant que stratégie pour réduire le conditionnement nécessaire de l'air extérieur. L'optimisation du système de distribution de l'air permet non seulement de faire des économies d'énergie et de maintenir ou d'améliorer la qualité de l'air intérieur, mais peut aussi permettre de faire encore plus d'économies en réduisant la capacité requise de l'équipement de chauffage et de refroidissement.

Les systèmes de traitement de l'air comportent de nombreux composants qui ont une incidence sur leur fonctionnement et leur rendement. Les améliorations au système de distribution de l'air peuvent être classées dans quatre catégories :

- Ajustement des taux de renouvellement de l'air pour être conforme aux exigences du Code ou répondre aux besoins des occupants
- Mise en place des commandes qui produisent des économies d'énergie
- Recours au refroidissement naturel, lorsque c'est possible
- Optimisation de l'efficacité des composants du système de distribution de l'air

Liste des mesures relatives aux systèmes de distribution de l'air

- ✓ Commencer par les mesures de premier ordre
- ✓ Utiliser un système de ventilation selon la demande
- ✓ Remplacer les systèmes à débit d'air constant par des systèmes à débit variable dans les installations à zones multiples
- ✓ Redimensionner les ventilateurs
- ✓ Installer des entraînements à vitesse variable
- ✓ Installer un système de récupération de chaleur sur les flux d'air évacué
- ✓ Installer des dispositifs de chauffage solaire de l'air dans les systèmes d'air d'appoint
- ✓ Installer un système à débit de réfrigérant variable
- ✓ Remplacer le système de distribution d'air mélangé par un système dédié à l'air extérieur
- ✓ Remplacer les filtres à air existants par des épurateurs d'air électroniques

1 PARTIE

- **Commencer par les mesures de premier ordre :** Les mesures de premier ordre visent à réduire la charge à l'échelle de la zone en vue de diminuer les exigences à l'endroit des systèmes de traitement de l'air et des systèmes connexes de chauffage et de refroidissement. L'optimisation des conditions et du rendement de l'espace à l'échelle de la zone permet d'équilibrer les besoins des occupants et la nécessité de minimiser l'énergie nécessaire pour offrir des conditions confortables. Un programme de commissioning de bâtiment existant (CxBE) est souvent la première étape de ce processus d'optimisation.

La phase d'évaluation d'un programme de CxBE nécessite la collecte des conditions de configuration et de fonctionnement des systèmes de traitement de l'air d'un bâtiment. Les réglages des thermostats, les calendriers opérationnels et le fonctionnement des registres sont des exemples d'éléments qui seraient confirmés et documentés dans le rapport de commissioning initial accompagnés de toutes les lacunes nécessitant des correctifs durant la phase de mise en œuvre.

Consultez la phase **Commissioning des bâtiments existants** pour connaître la liste des mesures opérationnelles potentielles.

- **Utiliser un système de ventilation selon la demande (VSD) :** Un système de VSD permet de s'assurer qu'un bâtiment est bien ventilé tout en minimisant les flux d'air extérieur. En général, des capteurs sont utilisés pour surveiller continuellement les taux de CO₂ dans l'espace conditionné, permettant à la CTA de moduler le taux de renouvellement de l'air extérieur pour qu'il corresponde à la demande établie en fonction des besoins d'occupation de l'espace ou de la zone (le CO₂ est considéré comme un indicateur du niveau d'occupation; plus le taux de CO₂ est élevé, plus il y a de gens dans l'espace et, par conséquent, plus la quantité d'air extérieur requise est élevée).

Historiquement, les systèmes de ventilation des bâtiments étaient conçus pour fonctionner selon des taux de renouvellement d'air constants ou prédéterminés, sans égard aux niveaux d'occupation. Puisque les taux de renouvellement d'air reposent normalement sur les taux d'occupation maximums, le fonctionnement des ventilateurs et le conditionnement de l'air extérieur excédentaire engendrent un gaspillage d'énergie durant les périodes d'occupation partielle.

Les systèmes de VSD tentent continuellement d'établir une correspondance entre l'approvisionnement en air extérieur et les niveaux d'occupation réels, ce qui entraîne d'importantes économies d'énergie en comparaison d'un système à débit d'air constant. Des capteurs de CO₂ devraient être utilisés dans les zones d'occupation dense et présentant des modèles d'occupation très variables, par exemple les salles de conférences, les espaces multifonctionnels, les coins-repas et les cafétérias. Pour ce qui est des autres zones, des capteurs d'occupation devraient être utilisés pour réduire la ventilation lorsqu'une zone est temporairement inoccupée. Les contrôles d'économiseur devraient toujours avoir la priorité sur le système de VSD dans les séquences de contrôle.

VSD dans les garages

Similaire au système de VSD d'un bâtiment, la ventilation dans les garages fermés ou partiellement fermés peut passer de constante à variable en fonction de la demande. La demande se mesure généralement à l'aide des concentrations de polluants émis par les véhicules, dont l'indicateur est habituellement le CO.

1 PARTIE

Le facteur de puissance est le ratio de puissance réelle par rapport à la puissance apparente. Un ratio plus élevé (proche de 1) signifie que ces deux valeurs sont plus proches l'une de l'autre, ce qui se traduit par des pertes réduites sur le plan de l'équipement de distribution électrique et des services publics.

Exemple :

First Canadian Place
Toronto (Ontario)

En raison de réaménagements énergétiques majeurs, Brookfield Properties a obtenu en 2012 la certification LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Or pour les bâtiments existants. Une des mesures mises en place a été de remplacer les 16 CTA à DAC du bâtiment par des systèmes à DAV. La demande a diminué de 208 kW, et la consommation a été réduite de plus de 700 000 kWh par année.

« *Auparavant, nous avions des problèmes de confort dans le bâtiment, et nous avons remarqué que les appels ont commencé à diminuer. Nous avons réussi à offrir aux locataires une meilleure zone de confort.* » – Fernando Dias, gestionnaire principal des opérations.

Source : Toronto Hydro

- **Remplacer les systèmes à débit d'air constant par des systèmes à débit variable dans les installations à zones multiples :** En règle générale, les besoins en flux d'air des systèmes à DAV équivalent à environ 60 % de ceux des systèmes à DAC. La conversion d'un ancien système à DAC de réchauffage multizone ou à deux conduits en un système à DAV moderne et écoénergétique est une tâche devant être exécutée par un ingénieur spécialisé en systèmes de CVCA.

Afin de déterminer les économies d'énergie potentielles, vous devrez modéliser la conversion par rapport au système existant. La détermination du rendement du capital investi dépend essentiellement de l'exactitude des coûts de mise en œuvre. Un modèle schématique du système est l'exigence minimale pour développer une estimation des coûts associée à la mise en œuvre d'une telle conversion.

- **Redimensionner les ventilateurs :** Les moteurs de ventilateurs surdimensionnés engendrent un faible facteur de puissance, et puisque la majorité des services publics exigent des frais additionnels en fonction des facteurs de puissance inférieurs à 90 %, des ventilateurs de capacité appropriée peuvent permettre d'économiser sur les coûts d'électricité et les coûts liés à la demande.

Le remplacement des ventilateurs par des unités plus petites et de capacité appropriée comporte un faible coût initial et offre un meilleur confort aux occupants, en plus de prolonger la durée de vie des équipements. Au moment de choisir un moteur de capacité appropriée, considérez de faire une mise à niveau en choisissant un moteur à rendement supérieur, d'installer un EVV et d'utiliser des courroies écoénergétiques afin de faire les meilleures économies.

- **Installer des entraînements à vitesse variable :** Les EVV sont une option de réaménagement efficace et économique pour tout ventilateur ou toute pompe à charge variable. Les EVV font varier la vitesse du moteur en fonction des conditions de fonctionnement réelles, plutôt que de les faire fonctionner continuellement à plein régime. Lorsqu'on les utilise pour contrôler les ventilateurs et les pompes, une réduction de 20 % de la vitesse de ces derniers peut entraîner une diminution de la consommation d'énergie de près de 50 %.

Les EVV sont un composant important d'un système à DAV écoénergétique. Au fur et à mesure que les charges diminuent et que les terminaux à DAV se ferment, la vitesse du ventilateur peut être réduite conformément. Bon nombre des systèmes à DAV existants sont configurés avec une vitesse de ventilateur constante et un registre de contournement où l'excédent d'air qui n'est pas acheminé aux points d'échange est déchargé dans la chambre de distribution d'air de retour. Voilà un mauvais concept, mais qui a tout de même été adopté, étant donné son coût d'installation plus économique.

1 PARTIE

■ Installer un système de récupération de la chaleur sur les flux d'air évacué :

La récupération de la chaleur est une exigence du CNÉB pour certains bâtiments neufs et une option qui permet de faire d'intéressantes économies d'énergie. Il existe deux principaux moyens de récupérer la chaleur qui sont bien adaptés aux immeubles de bureaux commerciaux types : les noyaux de récupération de chaleur et les roues thermiques à récupération d'énergie ou roues enthalpiques.

Les *noyaux de récupération de chaleur* contiennent un noyau de flux transversal où l'air extérieur et l'air évacué, séparés par de minces parois d'aluminium ou de plastique, passent par de petits canaux qui permettent l'échange rapide de chaleur entre les flux d'air. Puisque les flux d'air sont séparés, ces ventilateurs récupèrent principalement la chaleur sensible, avec une efficacité entre 55 % et 65 %.

Les *roues thermiques à récupération d'énergie ou roues enthalpiques* sont des roues dont la moitié est disposée dans le flux d'air évacué, et l'autre moitié, dans le flux d'air extérieur. La roue tourne continuellement, permettant à la chaleur et à l'humidité d'être absorbées à partir d'un flux d'air pour être ramassées par l'autre flux d'air, plus frais et généralement plus sec; ce procédé permet le transfert d'énergie latente en plus de l'énergie sensible. Les roues thermiques à récupération d'énergie ont généralement un bon rendement en matière de récupération de chaleur, leur efficacité sensible variant entre 60 % et 72 %, et leur efficacité latente, entre 50 % et 60 %.

■ Installer des dispositifs de chauffage solaire de l'air dans les systèmes d'air d'appoint :

Ce type de système est bien adapté pour préchauffer l'air extérieur dans les cas où la récupération de chaleur est impossible, ou lorsque les systèmes de ventilation sont conçus pour surventiler. Les capteurs solaires peuvent être montés sur un mur ou sur un toit. Tandis que les murs solaires peuvent être difficiles à mettre en œuvre dans le cadre de réaménagement d'un immeuble de bureaux commercial, les systèmes de toit sont une option plus viable.

Dans des conditions favorables (p. ex., faible vent), les capteurs ont une efficacité de près de 90 % et peuvent fournir entre 493 et 1 031 kWh/m² (superficie du capteur) par année. Les coûts varient entre 530 \$ et 700 \$ le capteur, chaque capteur pouvant avoir un rendement de 118 l/s (250 pi. cu./min). Les coûts totaux du système varient entre 15 \$ et 17 \$ le l/s (7 \$ ou 8 \$ le pi. cu./min).

Le transfert de chaleur **sensible** est associé aux changements de la température de l'air.

La chaleur **latente** est l'énergie absorbée ou libérée durant un changement de phase de gaz à liquide ou vice versa.

Exemple :

MDS Nordion
Ottawa (Ontario)

En 2007, MDS Nordion a installé un système de chauffage solaire de l'air. L'air préchauffé à l'énergie solaire généré par le système monté sur un mur est acheminé vers le système de ventilation du bâtiment, réduisant la charge de chauffage standard. Les économies d'énergie se rattachant à l'évitement des coûts ont été estimées à près de 10 000 \$ par année (en fonction des prix de l'énergie de 2007). Grâce à des subventions et des incitatifs fournies par les gouvernements fédéral et provincial, la période de récupération a été de moins de quatre ans.

Source : solarwall.com.

1 PARTIE

Les systèmes à DRV sont idéaux pour les réaménagements. Les unités de thermopompe sont petites, silencieuses et adaptables (peuvent être installées dans le vide du plafond); de plus, la tuyauterie de réfrigération entre les unités de thermopompe et les condensateurs est de petit diamètre. La taille du réseau de gaines du système de ventilation peut être diminuée, puisque seul l'air extérieur et l'humidification et déshumidification sont sollicités de la part du système central; les unités à DRV effectuent la totalité du chauffage et de la climatisation dans la zone.

- **Installer un système à débit de réfrigérant variable (DRV) :** Les systèmes à DRV se composent de thermopompes distribuées qui répondent aux besoins de conditionnement d'air des différentes zones. Ils peuvent être configurés pour fournir de la chaleur dans certaines zones et rafraîchir d'autres zones simultanément, une fonctionnalité requise par de nombreux bâtiments commerciaux durant les saisons intermédiaires et parfois toute l'année dans ceux qui ont de vastes zones intérieures. Par exemple, le côté sud d'un bâtiment peut jouir de gains de chaleur, et donc nécessiter un refroidissement, tandis que le côté nord nécessite un chauffage. Un refroidissement est souvent nécessaire dans les zones intérieures en raison des charges internes, tandis qu'un chauffage est plutôt nécessaire au périmètre, en raison de la perte de chaleur par l'enveloppe. Grâce à un système à DRV à tuyau triple, le rejet de chaleur est transféré aux zones nécessitant de la chaleur. Les systèmes à DRV sont 25 % plus efficaces que les systèmes de CVCA traditionnels; cependant, étant donné qu'ils dépendent exclusivement de l'électricité, généralement plus dispendieuse que le gaz naturel, une analyse des coûts-avantages devrait être réalisée pour déterminer si un système à DRV s'agit d'une option viable pour votre installation.
- **Remplacer le système de distribution d'air mélangé par un système dédié à l'air extérieur :** En comparaison aux systèmes de distribution d'air standards, comme le système à DAV, un système dédié à l'air extérieur (DOAS, pour l'anglais, *dedicated outdoor air system*) distribue la bonne quantité d'air extérieur directement à chaque zone, ou du côté d'alimentation de chaque unité de CVCA locale. L'air extérieur peut être partiellement conditionné lorsqu'il entre dans le bâtiment par l'équipement de récupération d'énergie, et le conditionnement final peut être effectué par l'équipement de CVCA à l'échelle de la zone.

Un DOAS nécessite généralement de 20 % à 70 % moins d'air extérieur qu'un système de distribution standard pour assurer une distribution adéquate d'air de ventilation dans chaque espace. Ainsi, la quantité d'énergie nécessaire pour conditionner l'air extérieur est moins importante. Un DOAS :

 - ▶ nécessite une quantité d'énergie de chauffage généralement moins élevée en raison d'une réduction du conditionnement de l'air extérieur;
 - ▶ élimine le réchauffage de zone;
 - ▶ nécessite globalement une capacité de refroidissement moins importante;
 - ▶ nécessite globalement une quantité d'énergie de refroidissement moins importante pendant une grande partie de l'année, en tirant profit de l'énergie de refroidissement latente déjà créée par l'unité dédiée à l'air extérieur;
 - ▶ nécessite un flux d'air ventilé moins important et, par conséquent, moins d'énergie de ventilation.

1 PARTIE

■ Remplacer les filtres à air existants par des épurateurs d'air électroniques :

Les épurateurs d'air électroniques utilisent deux technologies de filtration : un filtre passif qui dépend de la densité pour capter les contaminants, ainsi qu'une attraction électrostatique pour améliorer la filtration. Ils présentent plusieurs avantages pour les systèmes de CVCA :

- ▶ *Réduction de la puissance du ventilateur* – La baisse de pression statique entraînée par les épurateurs d'air électroniques correspond généralement à 250 Pa (1 pouce) de moins que celle des filtres à air conventionnels. Cela diminue la consommation d'énergie par le ventilateur ou permet de choisir de plus petits ventilateurs si la CTA existante doit être remplacée.
- ▶ *Amélioration de la qualité de l'air intérieur* – Les épurateurs d'air électroniques peuvent filtrer les émissions provenant des autos, les bactéries ainsi que les composés organiques volatils provenant des tapis, des meubles et des produits de nettoyage. En améliorant la qualité de l'air intérieur, les propriétaires de bâtiments peuvent réussir à diminuer les niveaux d'air extérieur grâce à un programme de surveillance afin de faire encore plus d'économies d'énergie.
- ▶ *Prolongation de la durée de vie utile et diminution de l'entretien* – Les épurateurs d'air électroniques ont des besoins d'entretien moins importants que les filtres à air conventionnels, dont les préfiltres doivent généralement être changés tous les trois mois.

Redimensionnement et remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement

La section qui suit aborde les deux principaux types de système de chauffage et de refroidissement, central et autonome, ainsi que les systèmes d'eau chaude domestique.

Les systèmes centraux consistent de chaudières et de refroidisseurs qui alimentent les CTA et les convecteurs.

Les systèmes autonomes se caractérisent souvent par une unité combinée de chauffage-refroidissement, par exemple une unité de toit avec un système de chauffage et de refroidissement par détente directe, et complétée par un ventilateur d'alimentation et, possiblement, un ventilateur de retour.

Dans un souci de respecter l'approche de réaménagements par phases, l'équipement de chauffage et de refroidissement peut tirer profit des réductions de charge effectuées aux phases précédentes. Non seulement les systèmes de chauffage et de refroidissement bénéficieront-ils d'une efficacité améliorée de l'équipement, mais les capacités du système pourront aussi être réduites, permettant ainsi des économies d'énergie encore plus importantes. De plus, nombreux systèmes existants sont surdimensionnés, alors il est possible de justifier le remplacement du système actuel par un système de capacité appropriée, ou de le réaménager pour qu'il soit plus efficace.

1 PARTIE

Systèmes de chauffage centraux

La majorité des systèmes de chauffage centraux des immeubles de bureaux sont alimentés par des chaudières à eau chaude. Bon nombre de chaudières existantes ont plus de 20 ans et fonctionnent à des efficacités entre 60 % et 70 %, notamment en raison d'une mauvaise conception; d'un contrôle inadéquat; de lacunes de la tuyauterie, des pompes ou du rayonnement; ou de cycles d'opération excessivement courts et fréquents. Les chaudières modernes peuvent atteindre une efficacité aussi élevée que 97 % et convertir pratiquement tout le combustible en chaleur utile.

Réaménager ou remplacer

Avant de prendre une décision concernant le réaménagement ou le remplacement des chaudières, certains critères précis doivent être évalués. Ces critères ont une incidence sur plusieurs composants du système de chaudières :

- Établissement du coût du cycle de vie du produit : Au moment de choisir, considérez la durée de vie utile et les choix relatifs à l'efficacité et au type (à condensation ou sans condensation).
- Opérations : Besoins courants et à long terme, heures de fonctionnement, incidence du temps d'arrêt, etc.
- Installation physique : Superficie mécanique, accès, alimentation, tuyauterie, procédés, personnel de l'exploitation, etc.
- Considérations budgétaires : Dépenses en immobilisations disponibles, incitatifs des services publics, économies d'énergie.

Avant de décider de réaménager une chaudière, vous devez considérer l'entretien du système existant. Si la chaudière n'a pas été bien entretenue, vous devrez probablement remplacer le système au complet; cependant, si la chaudière a été entretenue sur une base régulière, le réaménagement pourrait être la meilleure option. Pour trancher, demandez à un professionnel de l'inspecter.

Bien que la tendance soit de remplacer les vieux systèmes par un nouvel équipement, ne sous-estimez pas l'importance de l'entretien régulier pour contrôler les coûts énergétiques. Une situation qui semble aussi mineure qu'un flux s'écoulant à travers des filtres à air sales peut provoquer une chaudière à fonctionner inefficacement. Souvent, les employés oublient de vérifier les filtres, ou encore ils attendent qu'ils paraissent sales avant de les changer; à ce moment-là, il est généralement déjà plusieurs mois trop tard.

Bien que le réaménagement d'une vieille chaudière soit initialement une option moins dispendieuse que l'achat d'une chaudière neuve, vous devez aussi déterminer si le réaménagement est l'option la plus rentable à long terme.



Cotes d'efficacité

L'efficacité des chaudières est fréquemment exprimée au moyen du rendement de combustion (E_c), du rendement thermique (E_t) ou du rendement énergétique annuel (AFUE, pour l'anglais, *annual fuel utilization efficiency*). L'efficacité exprimée au moyen de la combustion ou du rendement thermique est une mesure de l'efficacité à l'état stable; l'efficacité exprimée au moyen de l'AFUE est plutôt une mesure de l'efficacité à l'état variable, qui rend compte du rendement d'une chaudière lorsqu'elle fonctionne à charge partielle et qu'elle fonctionne au ralenti entre les demandes de chaleur (une estimation de la pleine efficacité opérationnelle). Voici les cotes minimales des chaudières à gaz pour les nouveaux bâtiments prescrites par le CNÉB :

Tableau 2. Cotes d'efficacité de chaudières à gaz

Capacité de la chaudière	Cote	Efficacité minimale prescrite dans le CNÉB de 2011	Meilleure chaudière disponible
<88 kW	AFUE	85 %	97 %
88–733 kW	Rendement de combustion (E_c)	82,5 %	95 %
88–733 kW	Rendement thermique (E_t)	83 %	95 %
>733 kW	Rendement de combustion (E_c)	83,3 %	85–95 %

1 PARTIE

Liste des mesures relatives au chauffage et au refroidissement (systèmes de chauffage centraux)

Mesures de réaménagement

✓ Commencer par les mesures de premier ordre	✓ Contrôler les pompes des chauffe-eau à l'aide d'entraînements à vitesse variable
✓ Remplacer le système de contrôle des chaudières	✓ Remplacer les brûleurs
✓ Éliminer les valves d'étranglement du débit	✓ Installer des turbulateurs dans les chaudières à tubes de fumée
✓ Remplacer les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées par des unités à haute efficacité de capacité appropriée pour les charges réduites	

Mesures de remplacement

✓ Remplacer le système par une chaudière à condensation	✓ Remplacer le système par un système de chaudières hybride
✓ Remplacer le système par une chaudière à modulation	✓ Remplacer le système par un système de thermopompe

Si vous décidez de **réaménager**, considérez ces options :

- **Commencer par les mesures de premier ordre** : Les systèmes de chaudières existants peuvent être optimisés en s'assurant qu'une réinitialisation du chauffage de l'eau a été activée et en mettant les chaudières multiples en séquence. Consultez la phase [Commissioning des bâtiments existants](#) pour plus de détails.
- **Remplacer le système de contrôle des chaudières** : Les nouveaux développements en matière de contrôle des chaudières créent des possibilités de gains d'efficacité substantiels, notamment des mesures comme la réinitialisation de la température de l'eau chaude en fonction des températures extérieures, l'optimisation du rapport air-combustible, l'amélioration de la structure étagée des chaudières et l'ajout de contrôles de variation de vitesse des pompes de circulation.
- **Éliminer les valves d'étranglement du débit** : Cette mesure permet de réduire la consommation d'énergie des pompes. Si des valves sont installées pour contrôler le flux en causant une perte de charge, les mesures d'économie d'énergie comprennent l'ouverture complète des valves et la conversion en contrôles de variation de vitesse, l'ajustement de la roue ou un contrôle étagé des pompes.

1 PARTIE

- **Remplacer les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées par des unités à haute efficacité de capacité appropriée pour les charges réduites :**

La plupart des moteurs à induction qui alimentent les pompes atteignent une efficacité de pointe à environ 75 % de la charge et sont moins efficaces lorsqu'ils fonctionnent à pleine charge. Lorsque c'est possible, les pompes devraient être dimensionnées de façon à ce que durant la majeure partie de leur temps de fonctionnement, elles fonctionnent selon le facteur de charge le plus efficace, ou presque. Si une pompe est surdimensionnée, elle fonctionnera vraisemblablement à un facteur de charge inefficace, ce qui aura un effet négatif sur le facteur de puissance du système électrique, aboutissant potentiellement à des charges de demande plus élevées.

- **Contrôler les pompes des chauffe-eau à l'aide d'entraînements à vitesse variable :** Les EVV peuvent permettre de s'assurer que les pompes fonctionnent à leur pleine efficacité dans des conditions de charge partielle. La puissance requise pour faire fonctionner une pompe de moteur est proportionnelle au cube de sa vitesse. Par exemple, dans un système de pompe à EVV, une réduction de charge qui entraîne une réduction de 10 % de la vitesse du moteur réduit la consommation d'énergie de 27 %³⁹. À l'aide de contrôles appropriés, les vitesses plus lentes de la circulation de l'eau de chauffage grâce aux pompes à EVV peuvent aussi être coordonnées avec un calendrier de réinitialisation de la température de l'eau chaude pour répondre aux charges avec plus de précision et d'efficacité. Par exemple, il sera possible de répondre plus efficacement aux faibles charges de chauffage de l'eau en créant de l'eau de chauffage plus chaude et en ralentissant la circulation de l'eau pour économiser la consommation d'énergie de la pompe.

- **Remplacer les brûleurs :** De nouveaux brûleurs pour tous les types de chaudières et de combustibles sont offerts sur le marché, et bon nombre de fournisseurs offrent des pièces pour le réaménagement et la modification, question d'éviter le remplacement complet. Bien souvent, on peut ainsi apporter des améliorations importantes qui reviennent moins cher que le remplacement complet.

Le potentiel de gains d'efficacité des nouveaux brûleurs est fonction de la différence entre les anciennes et les nouvelles technologies. Les quantités de combustible et de combustible imbrûlé (provenant d'une combustion incomplète) et la quantité d'air excessif entre les anciens et les nouveaux brûleurs sont garantes du potentiel d'amélioration du rendement. En outre, la taille du brûleur et son débit moyen (c.-à-d., sa capacité de fonctionner efficacement à des charges partielles) auront une incidence sur les pertes associées à des faibles charges inefficaces et la fonction du cycle marche-arrêt.



Les chaudières doivent fonctionner avec un apport excessif en oxygène dans les gaz de combustion pour assurer la combustion complète du combustible, produisant ainsi une énergie thermique maximale. Cependant, une trop grande quantité d'oxygène refroidit la flamme, donc le contrôle des quantités d'air et de combustible est essentiel pour une efficacité optimale.

³⁹ La formule est $1 - (0,9)^3 = 0,27$.

1 PARTIE

En ce qui a trait à la capacité et au débit moyen, la plupart des brûleurs présentent un taux de variation de débit (rapport de la capacité à plein régime à la capacité minimale avant la fermeture) de 10:1 ou 12:1 avec une faible perte sur le plan de l'efficacité de la combustion, voire aucune. Cependant, certains brûleurs présentent des taux de variation de débit de 20:1. Un taux de variation de débit plus élevé réduit les démarrages et l'usure du brûleur ainsi que la nécessité d'effectuer des purges d'air, en plus de permettre un meilleur contrôle des charges, tous des facteurs qui améliorent l'efficacité globale.

- **Installer des turbulateurs dans les chaudières à tube de fumée :** Les turbulateurs sont des appareils qui créent une turbulence dans les échangeurs de chaleur, y compris les tubes de chaudières contenant des flammes, créant un plus grand contact thermique avec les parois du tube. Ce procédé entraîne un meilleur transfert thermique par les parois du tube et une perte de chaleur moins importante par les flux d'air évacué. Par conséquent, ils permettent d'économiser sur les coûts de chauffage en exigeant moins de combustible pour produire la même chaleur.

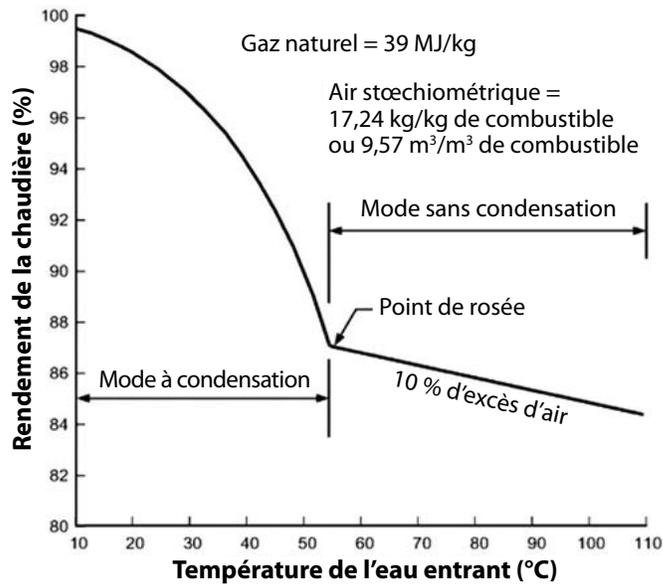
Si le **remplacement** est votre meilleure option, quatre mesures peuvent être considérées : chaudières à condensation à haut rendement, chaudières sans condensation (à modulation) à haut rendement, systèmes hybrides et thermopompes.

- **Remplacer le système par une chaudière à condensation :** La technologie de condensation récupère l'énergie latente contenue dans les gaz de combustion condensés – une partie de cette énergie est normalement perdue par la cheminée dans d'autres systèmes de chauffage. Grâce à la technologie de condensation, la vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion se condense sur les surfaces relativement froides de l'échangeur de chaleur de la chaudière, transférant ainsi la chaleur dans l'eau de cette dernière. La chaleur produite par la condensation est directement transmise dans l'eau de la chaudière, minimisant les pertes thermiques des gaz de combustion. L'efficacité saisonnière des chaudières à condensation peut atteindre jusqu'à 97 %.

Le coût initial des chaudières à condensation est plus élevé que celui des chaudières traditionnelles sans condensation. Le défi que doit relever le concepteur est de s'assurer que la température de l'eau qui retourne à la chaudière demeure en deçà de 54,4 °C (130 °F); autrement, l'efficacité de la chaudière diminue considérablement, comme l'illustre la figure 13, et la chaudière à condensation fonctionne en mode sans condensation. Dans ces conditions, la prime payée pour l'efficacité élevée du système à condensation est perdue, diminuant ainsi le rendement des investissements.

1 PARTIE

Figure 13. Température de l'eau de retour et incidence sur l'efficacité de la chaudière



Source : 2012 ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment.

© ASHRAE. ashrae.org (en anglais seulement).

- **Remplacer le système par une chaudière à modulation :** Une chaudière à modulation ajuste son rendement en captant la température de l'air extérieur ou de l'air de retour et en ajustant ensuite le taux d'allumage le plus bas possible pour répondre aux besoins de chauffage. La modulation permet des économies en améliorant l'efficacité dynamique durant les périodes de charges légères. Elle offre aussi un suivi exact des charges et un contrôle précis des températures, tout en minimisant la perte d'énergie. Les chaudières à modulation atteignent une efficacité pouvant aller jusqu'à 88 % et sont le choix le plus judicieux dans les contextes où les demandes de chauffage ne permettent pas des températures de l'eau de retour inférieures à 54,4 °C (130 °F).
- **Remplacer le système par un système de chaudières hybride :** Un système de chaudières hybride consiste en des chaudières à condensation et sans condensation contrôlées de façon à atteindre une efficacité maximale pendant la saison de chauffage. Selon la conception du système et la perte de chaleur du bâtiment, les températures de distribution de l'eau peuvent ne pas convenir à une chaudière à condensation. C'est souvent le cas en présence de conditions de chauffage de pointe. Par conséquent, lorsque les températures extérieures sont à leur plus froid, il est plus économique de faire fonctionner une chaudière sans condensation à modulation, étant donné que les températures élevées de l'eau de retour ne permettront pas le fonctionnement d'une chaudière à condensation. Cependant, durant la plus grande partie de la saison, lorsque les demandes de chauffage sont passablement inférieures à la demande de pointe, les températures de l'eau d'alimentation peuvent être diminuées, et les températures de l'eau de retour peuvent être en deçà du seuil de 54,4 °C (130 °F) pour le fonctionnement d'une chaudière à condensation.

Les chaudières à étages sont une option moins coûteuse que les chaudières à modulation. Plutôt que d'avoir l'éventail complet d'options d'allumage ajustable par modulation, les chaudières à étages offrent un pourcentage d'allumage prédéfini. Par exemple, une chaudière à quatre étages aura quatre taux d'allumage progressifs (100 %, 75 %, 50 % et 25 % du taux d'allumage maximum). Ces unités coûtent moins cher que les unités à modulation, mais sont aussi moins efficaces.

1 PARTIE

Pour surmonter ces écarts saisonniers de la demande, un système qui utilise une plus petite chaudière à condensation durant les saisons intermédiaires et une plus grande chaudière sans condensation durant l'hiver offrira un meilleur rendement du capital investi. Le système hybride active la chaudière à condensation jusqu'à ce que les températures de l'eau de retour ne permettent plus le fonctionnement de l'appareil à condensation. À ce point, le système active la chaudière sans condensation à modulation et désactive la chaudière à condensation.

- **Remplacer le système par un système de thermopompe :** Les thermopompes transfèrent la chaleur en faisant circuler un réfrigérant par les serpentins d'un échangeur de chaleur, effectuant un cycle d'évaporation et de condensation. Dans un serpentin (l'évaporateur), le réfrigérant est évaporé à basse pression et absorbe la chaleur avoisinante. Le réfrigérant est ensuite comprimé lors du trajet vers l'autre serpentin (le condensateur), où il se condense à haute pression. À ce point, il libère la chaleur absorbée dans l'évaporateur. Le cycle de la thermopompe est réversible, c'est-à-dire que la chaleur peut être absorbée dans l'environnement intérieur et libérée à l'extérieur, ou absorbée dans l'environnement extérieur et libérée à l'intérieur. Les thermopompes peuvent utiliser l'air, le sol ou un plan d'eau comme source d'énergie. Les unités utilisant le sol sont fréquemment appelées thermopompes géothermiques. Une thermopompe géothermique peut fonctionner en boucle ouverte, où l'eau du sol ou de surface circule vers la thermopompe, ou en boucle fermée, où un fluide circule dans une boucle fermée et effectue l'échange de chaleur à travers les parois de la tuyauterie. Les systèmes peuvent être centralisés ou distribués pour un contrôle et une distribution dans des zones multiples.

Les thermopompes distribuées utilisées dans les systèmes à DRV comportent des avantages sur le plan de l'efficacité par rapport aux systèmes centralisés et peuvent être alimentées soit par thermopompe à air, soit par échangeur géothermique, soit par une chaudière centrale. L'avantage de ces systèmes est que la chaleur peut être échangée directement dans la boucle du bâtiment, réduisant ainsi la charge thermique imposée à l'échangeur géothermique ou à la chaudière centrale. Consultez la mesure *Installer un système de réfrigérant à débit variable* à l'étape **Améliorations des systèmes de distribution de l'air** pour plus de détails.

En règle générale, les immeubles de bureaux commerciaux sont de bons candidats pour les réaménagements, parce que leurs températures sont maintenues à des points de consigne raisonnablement standards (entre 18 °C et 22 °C) pendant au moins 40 heures par semaine. Cependant, sous un climat dominé par le chauffage, et dans un contexte où les coûts d'électricité sont élevés, et les coûts du gaz naturel sont bas, les réaménagements vers des

1

PARTIE

thermopompes peuvent être moins intéressants sur le plan financier que d'autres options. Les conditions sont plus favorables lorsque l'équipement existant est à la fin de sa durée de vie utile attendue et que son remplacement est nécessaire sans égard aux gains d'efficacité qui pourraient en découler. Des estimations détaillées des coûts et des économies durant la durée de vie utile attendue du système de thermopompe devraient être effectuées pour évaluer de façon appropriée la faisabilité financière d'un projet donné.

Thermopompes géothermiques

Les thermopompes géothermiques nécessitent l'installation d'une boucle souterraine qui peut être horizontale (tranchées) ou verticale (puits). La capacité de la thermopompe à boucle fermée dépend de la longueur du conduit de la boucle d'échange dans le sol. Une thermopompe géothermique présente un rendement relativement constant en raison des températures stables dans le sol ou le plan d'eau. Le rendement est exprimé en tant que coefficient de performance (COP) qui se situe typiquement entre 3 et 4, ce qui signifie que pour chaque unité d'électricité consommée, trois ou quatre unités d'énergie sont produites.

En ce qui a trait aux immeubles de bureaux, le remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement de l'air conventionnels par des thermopompes géothermiques permet en général d'économiser entre 15 % et 25 % de la consommation d'énergie totale⁴⁰. En plus des économies d'énergie, les thermopompes géothermiques réduisent la demande d'électricité de pointe en été en raison de la moins grande puissance requise pour le refroidissement.

Les thermopompes géothermiques ont de plus faibles coûts d'exploitation qui contribuent considérablement à la rentabilité le long de leur cycle de vie. La technologie est moins susceptible à la défaillance, nécessite environ 25 % moins de réfrigérant (en comparaison des systèmes de réfrigération à l'air de taille similaire), nécessite moins d'entretien et a une durée de vie utile plus longue que les autres technologies de chauffage et de refroidissement, et ne fait appel à aucun équipement extérieur qui serait soumis aux intempéries ou autres risques physiques (p. ex., branches, accidents de construction, vandalisme). Cependant, sous un climat dominé par le chauffage, et dans un contexte où les coûts d'électricité sont élevés et les coûts du gaz naturel sont bas, les réaménagements vers des thermopompes peuvent être financièrement moins attrayantes que les autres options de chauffage et de refroidissement.

40 Geothermal Heat Pumps Deliver Big Savings for Federal Facilities, Federal Energy Management Program, DOE/EE 0291.

1 PARTIE

Thermopompes à air

Les thermopompes à air effectuent un échange d'énergie avec l'air extérieur. En mode de refroidissement, elles extraient la chaleur du flux d'air intérieur et la rejettent dans l'air extérieur. En mode de chauffage, elles absorbent la chaleur à basse température de l'air extérieur et la réchauffent (par compression) pour ensuite la rejeter dans le flux d'air intérieur. Sous un climat dominé par le chauffage, une thermopompe à air peut avoir du mal à elle seule à répondre aux besoins de chauffage d'un bâtiment; un supplément de chaleur provenant d'autres sources est généralement nécessaire.

Des percées ont été réalisées ces dernières années pour étendre la performance en mode de chauffage aux températures extérieures plus froides. Les thermopompes appartenant à cette nouvelle gamme de pompes conçues pour les climats froids offrent une pleine capacité de chauffage jusqu'à -15°C et une capacité de chauffage réduite jusqu'à -25°C . La capacité de ces pompes à chaleur ne dépasse pas 14 kW (4 tonnes), ce qui limite leur application aux petits bâtiments ou aux bâtiments où les systèmes de traitement de l'air biblocs sont acceptables.

Systèmes de refroidissement centraux

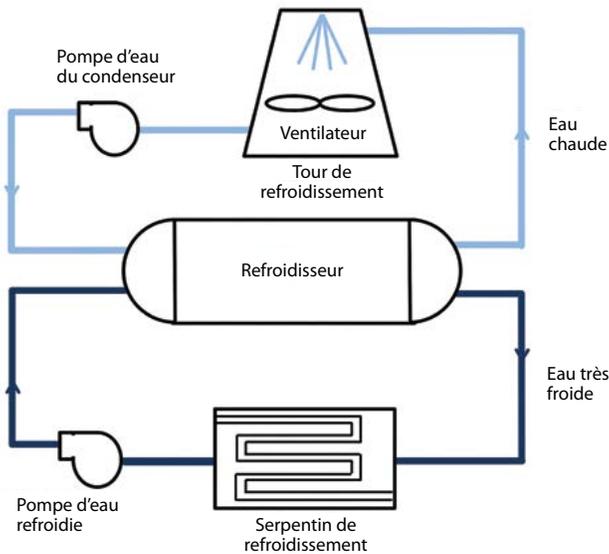
Les systèmes de refroidissement à l'eau sont une approche courante pour refroidir les moyens et les grands bâtiments ($9\,000\text{ m}^2$ [~100 000 pi. ca.] ou plus). Ils comportent des refroidisseurs centraux et des CTA séparées, ainsi qu'un réseau de conduites et de pompes qui les relie. Bien que seulement 25 % de la superficie des bâtiments commerciaux et institutionnels canadiens soient refroidies par des systèmes de refroidissement à l'eau, environ 43 % de tous les bâtiments plus grands que $9\,000\text{ m}^2$ sont dotés de tels systèmes⁴¹.

Les refroidisseurs sont au cœur de ces systèmes et sont souvent le point d'intérêt des évaluations de l'efficacité, principalement en raison des améliorations sur le plan des contrôles et de la technologie offertes par les fabricants. Cependant, se préoccuper uniquement de l'efficacité du refroidisseur n'entraînera pas nécessairement les économies d'énergie les plus intéressantes. La meilleure manière de produire des économies sur le plan de la consommation d'énergie et de la demande est de considérer le fonctionnement global du système de refroidissement à l'aide d'une approche intégrée. La figure 14 montre un exemple d'un système de refroidissement type. Les pompes et les ventilateurs du système, par exemple, ont un rôle à jouer pour ce qui est de proposer l'approche la plus rentable.

41 Ressources naturelles Canada. 2000. *Enquête sur la consommation d'énergie dans les bâtiments commerciaux et institutionnels*.

1 PARTIE

Figure 14. Centrale de refroidissement



Efficacité du système de refroidissement

Si l'on suppose la présence de bonnes conditions de fonctionnement, bon nombre de refroidisseurs à compresseurs centrifuges anciens ont un COP à pleine charge d'environ 4,0 (efficacité opérationnelle à pleine charge pour une capacité de refroidissement de 0,80 kW/tonne). La majorité des refroidisseurs à haute efficacité modernes ont un COP à pleine charge d'environ 7,0 (efficacité opérationnelle à pleine charge de 0,50 kW/tonne). Fait plus important encore, les nouveaux refroidisseurs ont une efficacité plus élevée à charge partielle que les anciens modèles. Étant donné que la majorité des refroidisseurs fonctionnent dans des conditions de charge partielle 95 % du temps ou plus, l'efficacité opérationnelle améliorée pour les charges partielles est une caractéristique clé pour réaliser des économies de coûts intéressantes.

Pour estimer avec exactitude les économies d'énergie qui pourraient être réalisées en remplaçant un refroidisseur existant, un profil de charge peut être préparé pour ce dernier. Un profil de charge démontre quelle quantité d'énergie un refroidisseur utilise à chaque point de son intervalle de fonctionnement, depuis la charge minimale jusqu'à la charge de pointe. Ce profil de charge peut être comparé avec celui d'un fabricant pour un refroidisseur de remplacement et utilisé pour estimer quelle quantité d'énergie ce dernier utiliserait.

Réduction à une capacité appropriée du système de refroidissement

Qu'il s'agisse de l'efficacité du système de refroidissement ou des charges de refroidissement d'une installation, ces facteurs peuvent changer au fil du temps. De plus, les refroidisseurs sont souvent surdimensionnés, provoquant ainsi une diminution de l'efficacité opérationnelle annuelle. Bien que l'installation d'un système à EVV puisse améliorer l'efficacité du système à charge partielle, il est plus efficace d'ajuster la capacité du refroidisseur en fonction des charges à traiter.

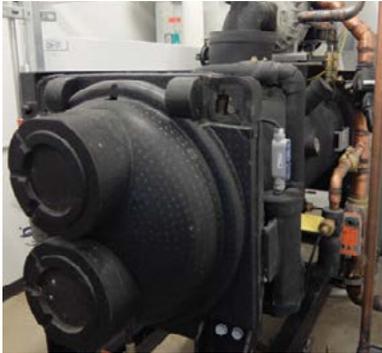
Effectuez le calcul : Pour illustrer l'incidence des diminutions de charges et la diminution résultante des coûts d'investissement du système de refroidissement, considérez une diminution de $10,76 \text{ W/m}^2$ (1 W/pi. ca.) de la densité de la puissance d'éclairage dans un bâtiment de $9\,290 \text{ m}^2$ ($100\,000 \text{ pi. ca.}$).

Le résultat de la charge d'éclairage diminuée permettra une diminution de la capacité du refroidisseur d'environ 80 kW (23 tonnes) (en supposant que 80 % de la chaleur d'échappement atteigne l'espace climatisé). Si un refroidisseur coûte habituellement 125 \$ le kW (450 \$ la tonne), une diminution de 80 kW permettrait de réduire le coût initial d'un nouveau refroidisseur de plus de 10 000 \$.

Source : EPA des États-Unis.

Remarque : Une capacité de refroidissement d'une tonne = 3,5 kW ou 12 000 Btu/h.

1 PARTIE



Le Protocole de Montréal, un traité signé pour la première fois en 1987 pour éliminer graduellement la production de produits chimiques nocifs pour la couche d'ozone, a été un facteur d'influence majeur dans le développement d'équipements et de réfrigérants de remplacement.

Les principaux types de réfrigérants sur le marché sont les chlorofluorocarbones (CFC), les hydrochlorofluorocarbones (HCFC) et les hydrofluorocarbones (HFC). Tous les CFC, y compris le CFC-11 et le R-12, ont été éliminés graduellement en 1996 et ne sont plus disponibles pour le nouvel équipement. L'industrie a effectué une transition réussie en éliminant les réfrigérants les plus nocifs pour la couche d'ozone, et les fabricants utilisent maintenant les HCFC comme le R-22 et le R-123, ainsi que les HFC tels que le R-134a, le R-410a et le R-407c.

Le bien-fondé du remplacement du refroidisseur

Les refroidisseurs ont habituellement une durée de vie utile de 20 à 25 ans (les refroidisseurs bien entretenus peuvent fonctionner 30 ans ou plus) et sont considérés comme un investissement exigeant d'importants capitaux. Bien que les faibles coûts de fonctionnement soient une grande motivation à remplacer les vieux refroidisseurs, les gestionnaires doivent considérer d'autres facteurs – l'état, l'âge et la fiabilité du refroidisseur, l'évolution des charges du bâtiment et les besoins d'entretien – avant de déterminer la véritable valeur du remplacement.

Réfrigérants

La majorité des refroidisseurs fabriqués avant 1995 utilisaient des réfrigérants au chlorofluorocarbure (CFC), qui ont un potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PACO) élevé. Cependant, étant donné que ces réfrigérants ne sont plus disponibles depuis près de deux décennies, la probabilité que les grands systèmes de réfrigération les utilisent est faible.

Plus de 95 % des unités de climatisation de l'air commerciales et résidentielles et plus de 50 % de l'équipement de réfrigération commerciale du Canada fonctionnent à l'aide de réfrigérants aux hydrochlorofluorocarbures (HCFC) (principalement R-22)⁴². Bon nombre d'unités de réfrigération commerciales ont été converties, passant des CFC aux HCFC. Les réfrigérants aux HCFC importés et fabriqués au Canada ont été éliminés de la chaîne d'approvisionnement en 2010, et aucun équipement au HCFC-22 (R-22) n'a été fabriqué ou importé au Canada depuis.

Les HCFC sont considérés comme des réfrigérants transitoires. En 1996, on a instauré un plafond, et ce dernier diminuera graduellement jusqu'à ce que la production mondiale soit éliminée en 2030. Cependant, la date d'élimination graduelle de l'équipement utilisant le réfrigérant HCFC R-123 est 2020. Par conséquent, les plans de remplacement de refroidisseurs ne devraient pas inclure les systèmes utilisant les réfrigérants aux HCFC tels que le R-123.

Les réfrigérants aux hydrofluorocarbures (HFC) ont remplacé les CFC et les HCFC. Contrairement à ces derniers, les HFC ne contiennent pas de chlore et ne représentent aucun danger pour la couche d'ozone; par contre, il a été établi qu'ils sont des gaz à effet de serre ayant un potentiel de réchauffement planétaire (PRP) beaucoup plus élevé que celui des CFC et des HCFC. L'industrie est donc à la recherche de nouveaux réfrigérants qui auraient des PACO et des PRP moins élevés.

Le R-134a n'est soumis à aucune date fixe d'élimination graduelle et est utilisé dans les refroidisseurs à compresseurs centrifuges, les refroidisseurs à compresseurs à vis refroidis à l'eau et les refroidisseurs à déplacement positif refroidis à l'air.

Les R-410a et R-407c ne sont soumis à aucune date fixe d'élimination graduelle et sont utilisés dans les petits refroidisseurs à déplacement positif refroidis à l'air et les unités de toit intégrées.

1

PARTIE

Les systèmes de refroidissement à l'eau sont complexes et, en ce sens, présentent de nombreuses possibilités de réaménagements énergétiques. L'approche recommandée est de rechercher des possibilités qui permettront de faire des économies en amont. Par exemple, en réduisant la résistance dans la tuyauterie, un concepteur peut être capable de réduire les coûts d'investissement en spécifiant une pompe et un refroidisseur plus petits. En commençant par les valves pour terminer par le ventilateur de la tour de refroidissement, on peut économiser sur les coûts d'investissement en amont et les coûts d'énergie.

Une approche systématique et intégrée est un élément clé pour l'amélioration de l'efficacité globale d'un système de refroidissement. C'est important pour deux raisons. La première, c'est qu'il est difficile de généraliser au sujet de possibilités spécifiques. L'installation du système de refroidissement le plus rentable exige une conception propre au bâtiment, qui tient compte des prix de l'énergie et de la demande, du profil de charge du bâtiment, du climat local, des caractéristiques du bâtiment, des calendriers opérationnels et des caractéristiques de fonctionnement à charge partielle des refroidisseurs disponibles. La seconde, c'est qu'une modification à la conception ou au fonctionnement d'un composant du système a souvent une incidence sur le rendement des autres composants. Par exemple, un accroissement du flux d'eau refroidie peut améliorer l'efficacité du refroidisseur, mais la puissance de pompage supplémentaire requise peut entraîner une *réduction* généralisée de l'efficacité du système. Les neuf mesures suivantes s'appliquent.

Liste des mesures relatives au chauffage et au refroidissement (systèmes de refroidissement centraux)

✓ Commencer par les mesures de premier ordre	✓ Améliorer le compresseur du refroidisseur
✓ Éliminer les valves d'étranglement du débit	✓ En ce qui a trait aux refroidisseurs sans entraînement à vitesse variable, utiliser des dispositifs de démarrage progressif à basse tension
✓ Isoler les conduites d'eau refroidie	✓ Remplacer un refroidisseur vieux ou surdimensionné d'efficacité standard par une unité refroidie à l'eau à haute efficacité de capacité appropriée
✓ Remplacer les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées par des unités à haute efficacité de capacité appropriée pour les charges réduites	✓ Installer des économiseurs à l'eau pour permettre aux tours de refroidissement de produire un refroidissement naturel lorsque les conditions météorologiques le permettent
✓ Contrôler les pompes d'eau refroidie à l'aide d'entraînements à vitesse variable	

Il est important de noter que la liste des mesures recommandées pour le système de refroidissement exige une évaluation technique détaillée pour déterminer quelles mesures appliquer et l'ampleur des économies.

1 PARTIE

Au moment du remplacement d'un refroidisseur existant, choisissez-en un qui sera le plus efficace dans les conditions dans lesquelles il devra fonctionner.

Même si le rendement d'un refroidisseur peut varier considérablement selon la charge et d'autres conditions, les concepteurs choisissent souvent les refroidisseurs en fonction de leur efficacité à pleine charge dans des conditions standards. Cependant, les refroidisseurs passent la plus grande partie de leur temps de fonctionnement dans l'éventail de charges de 40 % à 70 % et dans des conditions pouvant être considérablement différentes que les conditions standards. Pour choisir le refroidisseur qui aura les coûts d'exploitation les plus bas, déterminez dans quelles conditions réelles fonctionnera l'appareil et considérez ensuite l'efficacité de son fonctionnement dans ces conditions.

- **Commencer par les mesures de premier ordre :** Les systèmes de refroidissement existants peuvent être optimisés en s'assurant que des réinitialisations de l'eau refroidie et de l'eau du condensateur ont été activées et en mettant les refroidisseurs et tours de refroidissement multiples en séquence. Consultez la phase **Commissioning des bâtiments existants** pour connaître la liste des mesures opérationnelles potentielles.
- **Éliminer les valves d'étranglement du débit :** Cette mesure permet de réduire la consommation d'énergie de la pompe et de retourner moins de chaleur au refroidisseur. Si des valves sont installées pour contrôler la circulation en causant une perte de charge, les mesures d'économie d'énergie comprennent l'ouverture complète des valves et la conversion en contrôles de vitesse variable, l'ajustement de la roue ou un contrôle étagé des pompes.
- **Isoler les conduits d'eau refroidie :** L'isolation aide à s'assurer que l'eau refroidie n'absorbe que la chaleur provenant des espaces climatisés où elle est censée le faire.
- **Remplacer les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées par des unités à haute efficacité de capacité appropriée pour les charges réduites :** La plupart des moteurs à induction qui alimentent les pompes atteignent une efficacité de pointe à environ 75 % de la charge et sont moins efficaces lorsqu'ils fonctionnent à pleine charge. Lorsque c'est possible, les pompes devraient être dimensionnées de façon à ce que, durant la majeure partie de leur temps de fonctionnement, elles fonctionnent selon le facteur de charge le plus efficace, ou presque. Si une pompe est surdimensionnée, elle aura tendance à fonctionner selon un facteur de charge inefficace et à introduire une puissance réactive dans le système électrique, ce qui pourrait se traduire par des frais des services publics d'électricité associés à un faible facteur de puissance.
- **Contrôler les pompes d'eau refroidie à l'aide d'entraînements à vitesse variable :** Les EVV peuvent permettre de s'assurer que les pompes fonctionnent à leur pleine efficacité dans des conditions de charge partielle. La puissance requise pour faire fonctionner un moteur de pompe est proportionnelle au cube de sa vitesse. Par exemple, dans un système de pompe équipé d'un EVV, une réduction de charge qui entraîne une réduction de 10 % de la vitesse du moteur réduit la consommation d'énergie de 27 %⁴³. Cependant, il est nécessaire de s'assurer que la circulation de l'eau dans les refroidisseurs est maintenue à des niveaux sécuritaires. À l'aide de contrôles appropriés, la vitesse de circulation de l'eau refroidie, ralentie par les pompes à EVV, peut aussi être coordonnée avec un calendrier de réinitialisation de la température de l'eau refroidie pour répondre aux charges avec plus de précision et d'efficacité. Par exemple, il sera possible de répondre plus efficacement aux faibles charges de refroidissement en créant de l'eau refroidie plus froide et en réduisant la vitesse de circulation de l'eau pour diminuer la consommation d'énergie de la pompe.

⁴³ La formule est $1 - (0,9)^3 = 0,27$.

1 PARTIE

- **Améliorer le compresseur du refroidisseur :** Pour ce qui est d'un compresseur centrifuge, installez un EVV pour permettre au refroidisseur de fonctionner plus lentement dans des conditions de charge partielle. Cela permet d'obtenir une meilleure efficacité que celle qui est habituellement obtenue par les refroidisseurs à compresseur centrifuge ordinaires, qui contrôlent le traitement des charges partielles avec des aubes directrices d'entrée. Cependant, il y a une limite à la rentabilité des flux contrôlés par EVV. Dans les applications comprenant des périodes étendues de charges très faibles (p. ex., 10 % de la pleine charge), il peut être plus rentable d'installer un petit refroidisseur séparé juste pour traiter ces charges.

Pour ce qui est des refroidisseurs à vis et des refroidisseurs alternatifs, remplacez le compresseur existant par un modèle qui utilise la nouvelle technologie de palier magnétique. Ce type de compresseur est beaucoup plus efficace que tout autre dans la gamme de capacités situées en deçà de 1 000 kW (300 tonnes). Les refroidisseurs à compresseur à palier magnétique peuvent atteindre un COP saisonnier de 9,5 (une valeur intégrée à charge partielle [IPLV, pour l'anglais, *integrated part-load value*] de 0,37 kW/tonne), en comparaison d'un COP saisonnier de 6,0 (une IPLV de 0,60 kW/tonne) pour les refroidisseurs à vis, permettant de faire d'importantes économies.

- **En ce qui a trait aux refroidisseurs sans entraînement à vitesse variable, utiliser des dispositifs de démarrage progressif à basse tension :** Les enroulements du moteur des compresseurs à vitesse constante sont soumis à un stress important lors de la première mise en marche du refroidisseur en raison du courant d'appel élevé. Cela peut enfin provoquer une défectuosité du moteur. Le démarrage progressif fait augmenter graduellement la tension et le courant pour éviter le courant d'appel élevé. Le démarrage progressif en soi ne fait pas économiser d'énergie, mais il permet d'éteindre les refroidisseurs qui, autrement, seraient laissés en état de marche parce que l'opérateur se préoccuperait de l'usure provoquée par les démarrages fréquents.
- **Remplacer un refroidisseur vieux ou surdimensionné d'efficacité standard par une unité refroidie à l'eau à haute efficacité de capacité appropriée :** Si le refroidisseur existant approche la fin de sa durée de vie utile ou doit subir des travaux d'entretien importants, pensez à le remplacer pour tirer profit des économies qu'un nouveau modèle à haute efficacité peut offrir. Cette initiative peut être particulièrement fructueuse si le refroidisseur existant est déjà surdimensionné ou si les réductions de charge réalisées lors des autres étapes du processus d'améliorations du bâtiment permettent de diminuer la capacité du refroidisseur.

Exemple :

Toronto-Dominion Centre
Toronto (Ontario)
(certification LEED Or pour
les bâtiments existants :
Exploitation et entretien)

En 2010, le Toronto-Dominion Centre (TD Centre) est devenu la première propriété du Canada à recevoir la certification LEED Or pour les bâtiments existants : Exploitation et entretien du Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa). Un des projets les plus novateurs a été la manière dont le TD Centre a imparti une portion de son énergie. Lors de la rénovation du système de refroidissement, le bâtiment a été raccordé aux eaux du lac Ontario par le système de refroidissement par eaux lacustres profondes d'Enwave. En impartissant efficacement 46 000 kW (13 000 tonnes) de la capacité annuelle de refroidissement du bâtiment, l'entreprise a réussi à réduire sa consommation d'énergie dans ce créneau de 90 %.

Source : Green Commercial Real Estate, Office Assets, 2010 et Enwave Energy Corporation.

1 PARTIE

- **Installer des économiseurs à l'eau pour permettre aux tours de refroidissement de produire un refroidissement naturel lorsque les conditions météorologiques le permettent :** En présence de bonnes conditions climatiques, les économiseurs à l'eau peuvent économiser une grande quantité d'énergie en utilisant l'air extérieur relativement frais pour refroidir l'eau, au lieu du refroidisseur. Dans de nombreuses régions du Canada aux climats froids et secs, les économiseurs peuvent répondre à plus de 75 % des besoins de refroidissement.

Le type le plus commun est un économiseur *indirect* qui utilise un échangeur de chaleur séparé. Ce système permet de contourner complètement le refroidisseur et de transférer la chaleur directement du circuit d'eau refroidie à la boucle d'eau du condensateur. Lorsque la température du thermomètre mouillé est assez basse, le refroidisseur peut être éteint, et la charge de refroidissement peut être prise en charge exclusivement par la tour de refroidissement.

Résumé des améliorations au système de refroidissement

Avant de donner suite à une ou l'autre des possibilités énumérées dans les présentes directives, il est important d'évaluer le rendement du système de refroidissement en tant que système intégré. Bien que l'approche intégrée exige plus d'efforts que le simple choix de mesures indépendantes, elle procure plus d'économies. Les pompes, ventilateurs et compresseurs dotés d'EVV offrent une flexibilité et une efficacité opérationnelle accrues, mais nécessitent un système de contrôle qui peut coordonner leur fonctionnement avec le reste du système. Les contrôles existants peuvent ne pas être en mesure d'offrir les fonctions avancées nécessaires pour un fonctionnement efficace et, par conséquent, devraient eux aussi être améliorés.

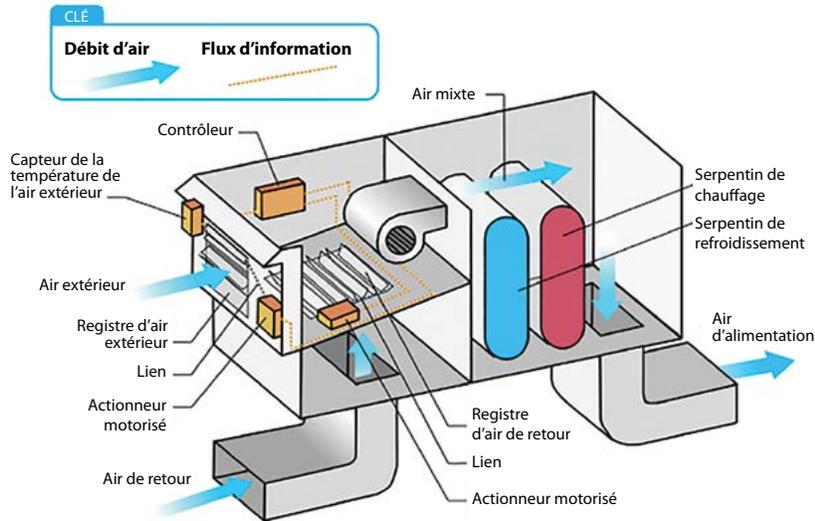
Unités de toit

Plus d'un tiers de la superficie utile des bâtiments commerciaux et institutionnels canadiens est conditionnée par des unités de toit intégrées et autonomes⁴⁴. Les unités de toit sont habituellement configurées avec un système de combustion au gaz naturel ou des éléments chauffants électriques pour le chauffage et un mode de refroidissement par détente directe (DX). Dans certains cas, elles possèdent aussi des roues ou des noyaux de récupération de chaleur. Elles peuvent aussi être configurées avec une thermopompe ou, dans de rares cas, le chauffage de l'unité peut provenir d'un serpentin d'eau chaude alimenté par un système de chaudières central. De plus, les unités peuvent être à débit constant ou à débit variable. La figure 15 illustre la configuration type d'une unité de toit.

44 Ressources naturelles Canada. 2000. *Enquête sur la consommation d'énergie dans les bâtiments commerciaux et institutionnels*.

1 PARTIE

Figure 15. Configuration type d'une unité de toit



Source : EPA des É.-U.

L'efficacité des unités de toit s'est considérablement améliorée au cours des 15 dernières années, et des options de technologies de réaménagement axées sur les contrôles sont maintenant offertes qui peuvent permettre des économies supérieures à 50 %. Selon l'efficacité et l'âge de l'unité de toit, le remplacement complet ou des réaménagements pourraient être rentables. Par exemple, si l'unité a 15 ans (la durée de vie utile attendue) ou plus, le remplacement est alors probablement la meilleure option. Si l'unité n'a que 5 ans, un réaménagement pourrait être une option viable. De plus, si un système de distribution à débit d'air constant est remplacé par un système à débit d'air variable, le remplacement de l'unité de toit sera alors nécessaire pour fournir l'approvisionnement en air variable avec rétroaction de contrôle de la part des boîtes de distribution.

L'efficacité de chauffage des anciennes unités de toit peut varier de 60 % à 75 %, tandis que les nouvelles unités peuvent atteindre une efficacité de 80 % dans le cas des unités sans condensation, et jusqu'à 90 % pour les unités à condensation.

Le tableau 3 illustre à quel point les normes d'efficacité d'ASHRAE pour les systèmes de refroidissement ont évolué.

Tableau 3. Évolution des normes d'efficacité des unités de toit

90.1-1999	90.1-2000	90.1-2004	90.1-2010		CEE palier II		Défi pour les unités de toit
EER	EER	EER	EER	IEER	EER	IEER	IEER
8,7	10,1	10,1	11,0	11,2	12,0	13,8	18,0

1 PARTIE

Les paramètres d'efficacité du refroidissement suivants pour les unités de toit sont définis par l'Air-Conditioning and Refrigeration Institute (ARI), une association professionnelle représentant les fabricants d'appareils de climatisation :

- Le taux de rendement énergétique (EER, pour l'anglais, *energy efficiency ratio*), défini comme étant le taux de refroidissement en Btu/heure divisé par la puissance en watts à des conditions de pleine charge, est une mesure de l'efficacité à pleine charge. La puissance inclut les puissances des compresseurs, des moteurs des ventilateurs et des contrôles.
- Le taux de rendement énergétique intégré (IEER, pour l'anglais, *integrated energy efficiency ratio*), défini comme étant l'efficacité du refroidissement à charge partielle sur la base du fonctionnement pondéré à diverses capacités de charge, s'applique aux unités de toit ayant des capacités de refroidissement égales ou supérieures à 19 kW (5,4 tonnes).
- Le taux de rendement énergétique saisonnier (SEER, pour l'anglais, *seasonal energy efficiency ratio*) exprime l'évaluation saisonnière en fonction des charges résidentielles représentatives, contrairement à l'EER, qui exprime l'efficacité à un point d'évaluation unique. Le SEER ne s'applique qu'aux unités de toit ayant une capacité de refroidissement de moins de 19 kW. Bien que les unités de moins de 19 kW alimentées par un courant triphasé soient classées comme étant commerciales, elles utilisent toujours le paramètre SEER résidentiel. Cela s'explique du fait que ces petites unités sont comparables aux unités alimentées par un courant monophasé utilisées dans les applications résidentielles, qui ont une large part de marché dans cet éventail de capacité. Les vieilles unités de moins de 19 kW ont souvent un SEER aussi bas que 6.

Le Consortium for Energy Efficiency (CEE), une organisation à but non lucratif qui fait valoir l'adoption de technologies écoénergétiques, a défini la recommandation d'efficacité énergétique minimale de palier 1 de 1993 comme ayant un EER d'au moins 10,3, 9,7 et 9,5, respectivement, pour les catégories petites, grandes et très grandes unités de toit.

Sous les auspices de la campagne sur les unités de toit du Department of Energy des États-Unis, qui fait valoir l'adoption d'unités de toit écoénergétiques, les spécifications en matière d'efficacité ont augmenté à un IEER minimal de 18 pour les unités de 35 à 70 kW (de 10 à 20 tonnes) en tant que défi auprès des fabricants. L'industrie a répondu favorablement à ce défi et plusieurs fabricants offrent déjà des unités qui répondent à ce seuil de rendement agressif, dont bon nombre sont offertes sur le marché canadien.



PARTIE

Liste des mesures relatives au chauffage et au refroidissement (unités de toit)

- | | |
|---|---|
| ✓ Convertir le système à débit constant en système à débit variable avec ventilation selon la demande et un économiseur | ✓ Ajouter la fonction de récupération de chaleur ou d'énergie |
| ✓ Ajouter un contrôle au compresseur pour diminuer le temps de fonctionnement | ✓ Remplacer les unités de toit |
| ✓ Ajouter un registre d'économiseur | |

Le réaménagement des unités de toit pour faire des économies d'énergie se fait habituellement sous la forme de contrôles, plutôt que par l'ajout d'un équipement conçu pour économiser l'énergie (comme un système de récupération de chaleur) ou par le remplacement du moteur. Cependant, il existe des possibilités d'ajouter un équipement conçu pour économiser l'énergie dans certains cas. Dans la catégorie de **réaménagement**, les quatre mesures suivantes sont applicables :

- **Convertir le système à débit constant en système à débit variable avec ventilation selon la demande et un économiseur** : Dans le marché actuel, il existe deux technologies intégrées qui sont jugées acceptables par les services publics pour les programmes d'incitatifs à la conservation. Pour ce qui est des unités de toit à DAC de plus de 26 kW (7,5 tonnes), on trouve sur le marché une trousse de réaménagement complètement intégrée du contrôle avancé d'unité de toit qui convertit un système à DAC en système à DAV avec ventilation selon la demande et un économiseur. Une étude sur le terrain menée par le Pacific Northwest National Laboratory⁴⁵ a fourni une analyse indépendante de cette technologie, dont les résultats ont démontré une réduction de la consommation d'énergie annuelle normalisée des unités de toit variant entre 22 % et 90 %, avec une moyenne de 57 % pour toutes les unités.
- **Ajouter un contrôle au compresseur pour diminuer le temps de fonctionnement** : Pour ce qui est des unités de toit plus petites que 26 kW, des contrôleurs intégrés qui réduisent la consommation d'énergie pour la climatisation de l'air sont disponibles. Ces appareils contrôlent les cycles du compresseur pour diminuer le temps de fonctionnement tout en continuant à offrir la capacité de refroidissement attendue de l'unité. Les systèmes de climatisation de l'air sont habituellement conçus pour répondre aux conditions de charge de pointe, plus une marge de sécurité, et fonctionnent continuellement jusqu'à ce que le point de consigne de température de la pièce soit atteint. Cependant, dans la majorité des conditions opérationnelles, le rendement maximal n'est pas requis, et le système est surdimensionné pour la charge. De simples contrôleurs qui détectent la saturation thermodynamique de l'échangeur de chaleur éteignent le compresseur pour éviter le surrefroidissement. L'expérience de l'industrie a démontré qu'on peut faire des économies d'énergie de refroidissement de 20 % en moyenne.

Le Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) a créé un **calculateur comparatif d'unités de toit** (pnnl.gov/uac/costestimator/main.stm [en anglais seulement]), qui permet de comparer l'équipement à haute efficacité avec l'équipement standard relativement au coût du cycle de vie.

Cet outil de calcul en ligne fournit des estimations relatives au coût du cycle de vie, à la période de récupération, au rendement du capital investi et au rapport économies-investissements. Les simulations utilisent des emplacements aux États-Unis pour les conditions météorologiques; cependant, dans le cas des emplacements canadiens ayant les mêmes zones climatiques, l'outil peut fournir une estimation raisonnable de l'analyse coûts-avantages.

⁴⁵ *Advanced Rooftop Control (ARC) Retrofit : Field-Test Results*. pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-22656.pdf (en anglais seulement).

1 PARTIE

- **Ajouter un registre d'économiseur** : Certains modèles d'unités de toit peuvent fonctionner avec un registre d'économiseur en tant qu'option du fabricant. Dans les cas où le registre n'était pas inclus dans le choix du produit original, l'ajout d'un économiseur permettra des économies d'énergie.
- **Ajouter la fonction de récupération de chaleur ou d'énergie** : Similairement, certains modèles d'unités de toit peuvent fonctionner avec des ventilateurs de récupération de chaleur ou d'énergie en tant qu'options du fabricant. Dans les cas où ces options n'étaient pas incluses dans le choix du produit original, leur ajout permettra des économies d'énergie.

L'analyse de rentabilisation se présente souvent favorable au **remplacement** des unités de toit existantes par de nouvelles unités à haute efficacité. Compte tenu du potentiel d'économies combinées sur le chauffage et le refroidissement de 50 % ou plus, il peut parfois être rentable de remplacer les unités de toit avant la fin de leur durée de vie attendue.

- **Remplacer les unités de toit** : Le remplacement d'une unité de toit existante procurera de nombreux gains d'efficacité, surtout lorsque les unités à haute efficacité comportent des spécifications concernant les ventilateurs et les compresseurs à vitesse variable, la récupération d'énergie et le chauffage à condensation. Les unités de toit sont dimensionnées selon leur capacité de refroidissement (en kilowatts ou en tonnes), leurs capacités de chauffage nominales étant déterminées en fonction de cette capacité de refroidissement. Il faut apporter une attention particulière aux spécifications des produits afin de déterminer les options de combustion des gaz à haut rendement. Le remplacement des unités de toit existantes par une nouvelle génération d'unités avancées procurera de nombreux gains d'efficacité et un confort accru des occupants grâce à un meilleur contrôle. Des percées importantes sur le plan du rendement des unités de toit ont été effectuées depuis 2011. De plus, lorsque vous considérez un remplacement de l'équipement, sa capacité devrait être revue pour s'assurer qu'elle sera appropriée. Voici quelques-unes des caractéristiques offertes par les unités de toit avancées de nouvelle génération :
 - ▶ boîtiers isolés pour une efficacité énergétique et une acoustique améliorées;
 - ▶ contrôle du chauffage multiétages ou à modulation avec taux de variation de débit de 10:1;
 - ▶ chauffage de type à condensation avec AFUE jusqu'à 94 %;
 - ▶ moteurs de ventilateur à commutation électronique à vitesse variable;
 - ▶ compresseurs à vis à vitesse variable offrant une efficacité supérieure à charge partielle;
 - ▶ récupération de chaleur et d'énergie provenant de l'air évacué;
 - ▶ contrôle de la ventilation selon la demande à l'aide de capteurs de CO₂;
 - ▶ option de thermopompe;
 - ▶ SEER jusqu'à 18; IEER jusqu'à 21;
 - ▶ surveillance à distance de la consommation d'énergie et des opérations.

1

PARTIE

Eau chaude domestique

Même si le chauffage de l'eau représente seulement une petite portion de la consommation totale d'énergie dans les immeubles de bureaux du Canada (~ 8 % ou moins), il est possible de faire des économies d'énergie.

Liste des mesures relatives au chauffage et au refroidissement (eau chaude domestique)

✓ Installer des aérateurs et des pommes de douche à débit réduit	✓ Remplacer la chaudière ou le chauffe-eau par une unité plus efficace
✓ Programmer le système de recirculation	✓ Remplacer le système à réservoir par un système à la demande

- **Installer des aérateurs et des pommes de douche à débit réduit :** Les robinets et les pommes de douche à débit réduit permettent de réduire la consommation d'eau chaude. L'installation des appareils sanitaires à consommation d'eau réduite est la mesure la moins coûteuse pour réduire la consommation d'énergie, et les remplacements peuvent être effectués facilement par le personnel d'entretien. Parmi les produits offerts, certains ont des débits aussi faibles que 0,95 l/min pour ce qui est des robinets et 4,7 l/min pour ce qui est des pommes de douche.
- **Programmer le système de recirculation :** Dans bon nombre de bâtiments, une pompe en ligne fait circuler l'eau chaude dans le système de distribution d'eau domestique afin que l'eau chaude soit immédiatement disponible pour utilisation. Le fait de programmer la circulation pour qu'elle ne s'effectue que durant les heures d'occupation permet d'économiser l'énergie électrique associée à l'utilisation de la pompe. Les pertes thermiques par la conduite de circulation sont également réduites. La méthode la plus simple de programmer la pompe de recirculation est d'ajouter une minuterie et de la programmer pour correspondre aux heures d'occupation. Pour les occupants travaillant hors des heures normales d'occupation, il n'y aura pas immédiatement d'eau chaude provenant du robinet.
- **Remplacer la chaudière ou le chauffe-eau par une unité plus efficace :** Les chaudières et les chauffe-eau de plus de 20 ans fonctionnent à des efficacités situées entre 60 % et 80 %. Ils peuvent être remplacés par de nouvelles unités qui atteignent une efficacité aussi élevée que 95 % dans le cas des systèmes à condensation.

1 PARTIE

- **Remplacer le système à réservoir par un système à la demande :** Dans les petits bâtiments dotés d'un nombre restreint de toilettes, il peut être possible de remplacer un chauffe-eau central par un chauffe-eau électrique à la demande près du point de consommation, ou par un chauffe-eau central à la demande alimenté au gaz naturel. Les chauffe-eau à la demande n'ont pas de réservoir, puisqu'ils chauffent l'eau au moment où elle circule dans l'échangeur de chaleur. Ces types de chauffe-eau sont environ 20 % plus efficaces que les chauffe-eau à réservoir alimentés au gaz naturel^{46,47}, et les économies sont attribuables à l'absence de pertes de stockage, caractéristiques des systèmes à réservoir conventionnels.

Les chauffe-eau à la demande se présentent sous deux formes de base. Les petites unités électriques montées près du point de consommation sont très utiles lorsqu'il n'y a qu'un ou deux cabinets de toilette. Les grandes unités centralisées et alimentées au gaz naturel conviennent davantage lorsqu'il y a plusieurs cabinets de toilette. Les chauffe-eau sans réservoir sont généralement plus coûteux que le type à stockage, et une analyse complète des coûts de propriété peut être utile pour déterminer si un avantage économique s'y rattache.

IMPORTANT : La gestion de la *Legionella* dans les systèmes d'eau chaude et d'eau froide

La bactérie *Legionella* se trouve fréquemment dans l'eau et peut se multiplier là où les substances nutritives sont disponibles et lorsque les températures se situent entre 20 °C et 45 °C. La bactérie reste dormante sous 20 °C et ne survit pas au-dessus de 60 °C. La maladie du légionnaire est un type de pneumonie potentiellement fatale, contractée en inhalant des gouttelettes d'eau en suspension dans l'air contenant la bactérie *Legionella* viable.

Le risque de contracter la bactérie peut être contrôlé au moyen de la température de l'eau. Le stockage de l'eau chaude devrait atteindre au moins 60 °C. L'eau chaude devrait être distribuée à 50 °C ou plus (à l'aide de vannes mélangeuses à trois voies thermostatiques pour prévenir l'ébouillantage). Ces critères de température devraient être respectés au moment de concevoir tout réaménagement à votre système d'eau chaude domestique.

Pour en savoir plus, consultez l'*American Society of Plumbing Engineers (ASPE), 2005 Data Book – vol. 2*, chap. 6 – Domestic Water Heating Systems Fundamentals.

46 ENERGY STAR. Produit certifié ENERGY STAR. Chauffe-eau. energystar.gov/productfinder/product/certified-water-heaters/results (en anglais seulement).

47 Ressources naturelles Canada. Office de l'efficacité énergétique. Cote de rendement énergétique. Chauffe-eau, gaz. oee.nrcan.gc.ca/pml-lmp/index.cfm?action=app.search-recherche&appliance=WATERHEATER_G.

1 PARTIE

Ressources naturelles Canada offre plusieurs ressources et conseils pour vous aider à améliorer l'efficacité énergétique de vos bâtiments.

- ▶ *Guide de reconditionnement pour les propriétaires et les gestionnaires de bâtiments*
- ▶ *Guide des pratiques exemplaires en matière de gestion de l'énergie*
- ▶ *Guide sur la formation en gestion de l'énergie*
- ▶ *Améliorer le rendement énergétique de votre bâtiment : Introduction à l'analyse comparative énergétique*
- ▶ *Analyse comparative énergétique des bureaux commerciaux*

Pour ces ressources et d'autres, visitez notre site Web au rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/13563.

Courriel : info.services@rncan-nrcan.gc.ca.

Sans frais : 1-877-360-5500.

PARTIE 2

MISSISSAUGA EXECUTIVE CENTRE : ÉTUDE DE CAS

Une approche par phases aide le Mississauga Executive Centre à récolter des avantages en matière d'efficacité énergétique.



MEC2, illustré ci-dessus, a été construit à la fin des années 70. Les améliorations en matière d'efficacité énergétique réalisées entre 2005 et 2013 ont permis de réduire la consommation d'électricité et de gaz naturel, permettant ainsi d'économiser 30 % sur les coûts énergétiques.

Remarque à l'intention des lecteurs : Bien que de nombreuses améliorations semblables aient été apportées aux quatre bâtiments, cette étude de cas porte essentiellement sur MEC2, le plus vieux des bâtiments.

Photo fournie par Colliers International.

« J'ai travaillé dans cette industrie pendant longtemps. Il y a 24 ans, lorsque je travaillais dans un hôtel, nous sommes passés aux lampes fluorescentes compactes (LFC). Les gens croyaient que nous étions fous de dépenser 30 \$ pour une ampoule, mais aujourd'hui, l'efficacité énergétique n'est même pas remise en question. »

– Wade Warner, directeur général
Gestion des propriétés, Est du Canada, Colliers International

Le Mississauga Executive Centre (MEC) comporte quatre bâtiments situés au cœur de Mississauga, en Ontario, qui ont tous obtenu la certification LEED Or pour les bâtiments existants en 2013.

Le MEC est géré par Colliers International, le troisième plus important fournisseur de services d'immobilier commercial au monde. Dans le cadre d'une initiative grandissante ciblant la durabilité, Colliers a reconnu son rôle en encourageant la conservation de l'énergie et a été la première entreprise de services immobiliers à mesurer son empreinte carbone. Elle travaille en collaboration avec des gestionnaires de portefeuilles et des propriétaires à définir des cibles et à prendre les mesures nécessaires pour les atteindre.

Pour le MEC, cela se traduisait par l'établissement d'une cible de réduction de la consommation d'énergie de 20 % avant 2012. En 2011, Colliers a établi une cible additionnelle, soit la réduction des gaz à effet de serre de 20 % avant 2015.

Avantages majeurs

- ✓ Entre 2007 et 2012, la consommation d'énergie de MEC2 a diminué de 30 %.
- ✓ Les dépenses d'immobilisation pour les réaménagements ont totalisé quelque 2,5 millions de dollars pour les quatre bâtiments.
- ✓ Les projets ont généralement une période de récupération des coûts de trois ou quatre ans.
- ✓ La plupart des améliorations ont été effectuées dans le cadre du programme de renouvellement de l'actif de Colliers.



PARTIE

L'approche par phases en matière de réaménagements

En 2007, une vérification énergétique a été effectuée aux quatre bâtiments du MEC pour recueillir des renseignements de base sur la consommation d'énergie. Des cotes de référence ont été établies pour chaque bâtiment à l'aide d'ENERGY STAR Portfolio Manager. Sans surprise, MEC2, le plus vieux des quatre bâtiments, a obtenu la cote la plus basse (53 sur une note possible de 100). Plusieurs projets avaient déjà été réalisés avant la vérification, mais le processus a révélé plusieurs nouvelles possibilités.

« Au fil du temps, nous sommes devenus plus méthodiques; maintenant, nous savons que la meilleure manière de faire des réaménagements est d'effectuer une vérification d'abord, de faire une analyse comparative ensuite et finalement de mettre en œuvre les projets et d'effectuer le suivi du rendement. »

– Wade Warner

« En constatant la cote de référence, notre réaction initiale a été de nous dire qu'il ne restait que des projets compliqués ou coûteux », se souvient M. Warner. Mais au fur et à mesure que ses collègues et lui effectuaient une analyse plus poussée des chiffres, ils ont découvert qu'il restait encore plusieurs projets simples et présentant un bon potentiel de rendement des investissements à réaliser.

La vérification énergétique ainsi que les possibilités de formation du personnel ont illustré les avantages d'utiliser l'approche par phases en matière de réaménagements recommandée par RNCAN. Tous les membres du personnel suivent le cours sur les systèmes de bâtiment du Seneca College; de plus, d'autres formations leur sont offertes. M. Warner est aussi un spécialiste accrédité LEED.

Qu'est-ce qui a été fait?

Éclairage

Entre 2002 et 2003, le système d'éclairage de tous les bâtiments du MEC a été rénové en remplaçant les lampes et les ballasts T12 par un système écoénergétique composé de ballasts électroniques T8, de lampes fluorescentes T8 et de réflecteurs intérieurs à haute efficacité. Le projet a consisté à remplacer environ 25 000 luminaires et à installer de nouveaux panneaux de contrôle de l'éclairage.

À elles seules, les économies d'énergie annuelles liées à l'éclairage sont estimées à environ 560 000 \$. La période de récupération des coûts a été de deux ans, avec un simple rendement du capital investi d'environ 50 %. De plus, les émissions annuelles de dioxyde de soufre et de dioxyde de carbone ont été réduites de 12 tonnes et 2 500 tonnes, respectivement, et les vieilles lampes T12 ont été recyclées pour le mercure, d'autres métaux et le verre.

PARTIE 2

Enveloppe et eau chaude domestique

Une analyse infrarouge du toit et du mur-rideau a été effectuée, et les fuites d'air décelées ont été réparées. Un nouveau contrôleur a été installé sur toutes les chaudières d'eau chaude domestique. Le contrôleur détermine la charge calorifique au moyen d'un capteur de température d'appoint qui surveille la température de l'eau du flux sortant de la chaudière et le taux de changement de la température. Il ajuste ensuite le modèle de fonctionnement du brûleur pour qu'il corresponde à la charge calorifique.

Système de CVCA

Des EVV ont été installés sur tous les ventilateurs et toutes les tours de refroidissement. On a remplacé une chaudière atmosphérique par un nouveau modèle à haut rendement, et le refroidisseur alternatif a été remplacé en 2013 par une unité à haute efficacité de 1 300 kW (370 tonnes) qui a été raccordée au système de refroidissement naturel. Les panneaux de contrôle ont été remplacés par de nouveaux panneaux pour que tout l'équipement communique avec le système de contrôle automatique du bâtiment de MEC2.

Comme l'illustre le tableau 4, une fois que les rénovations ont été terminées, les cotes ENERGY STAR des quatre bâtiments ont montré des améliorations marquées.

Tableau 4. Améliorations des cotes ENERGY STAR

Bâtiment	2010	2011	2012	2013	2014
MEC1	74	75	79	87	89
MEC2	53	50	71	82	84
MEC3	85	86	88	87	87
MEC4	72	73	90	94	93

Comment les réaménagements ont-ils été financés?

La grande majorité des projets de réaménagement faisaient partie du processus de renouvellement de l'actif du MEC – le remplacement des équipements ou des systèmes qui devait être effectué sans égard à la consommation d'énergie ni aux coûts. Les propriétaires ont fourni des fonds, et les économies ont servi à compenser les coûts d'investissements.

Tableau 5. Financement des réaménagements

MEC2	
Investissement initial total	625 000 \$
Incidence des économies d'énergie sur le revenu net d'exploitation (RNE)	160 000 \$/année
Taux de capitalisation (reflète le marché des immeubles de bureaux de 2014 dans la banlieue de la région du Grand Toronto)	6,5 %
Valeur de l'actif additionnelle à l'aide de la méthode du revenu, soit 160 000 \$ / 6,5 %	~ 2 500 000 \$



PARTIE

« Notre cible était une réduction de 20 % de la consommation d'énergie avant 2012, et nous l'avons surpassée », affirme M. Warner. Il ajoute toutefois qu'en raison des coûts énergétiques à la hausse, certains projets ne semblaient pas synonymes d'économies au départ. « Pour certains projets, nous payions le même montant (en coûts des services publics), mais j'ai expliqué aux comptables que la facture aurait été beaucoup plus élevée si nous n'avions pas procédé. »

Des économies additionnelles ont découlé des programmes de services publics. En 2010, de la technologie de surveillance de la consommation d'énergie a été installée pour faire le suivi de la consommation en temps réel. Un gestionnaire de l'énergie d'Enersource (mis à la disposition des intervenants dans le cadre du programme SaveONenergy de l'Ontario Power Authority [OPA]) les a aidés à définir les nouveaux projets et à s'y retrouver dans le processus de demande d'incitatifs en matière de services publics. Par exemple, pour un investissement d'environ 390 000 \$, Enersource a fourni un programme incitatif de 76 000 \$ pour le remplacement du refroidisseur; MEC2 a aussi bénéficié d'un rabais de 11 694 \$ d'Enbridge pour le remplacement de la chaudière.

Comment puis-je profiter de l'expérience de MEC2?

Selon M. Warner, bien que son équipe et lui n'aient pas dû affronter beaucoup de problèmes techniques ou ayant trait au processus, son plus grand défi initial a été de renverser les idées traditionnelles.

« Le personnel aime bien rester dans le domaine du connu, et les nouvelles idées peuvent sembler menaçantes au départ. Grâce à de la formation, il a développé sa conscience énergétique et, dans la plupart des cas, a fini par trouver que les choses s'étaient améliorées. »

Pour ceux et celles pour qui le processus est nouveau, M. Warner préconise l'approche par phases recommandée par Ressources naturelles Canada.

« Une vérification énergétique au départ fournira de nombreuses possibilités gratuites et à faibles coûts. La meilleure première étape à suivre, et la moins coûteuse, est d'éteindre les appareils lorsqu'ils ne sont pas requis. La nuit, promenez-vous dans votre bâtiment et vous y trouverez des possibilités surprenantes en voyant tout ce qui continue à fonctionner une fois le personnel rentré chez lui. »

3 PARTIE

MON INSTALLATION

La section qui suit fournit un résumé des mesures de réaménagement applicables aux immeubles de bureaux sous forme de questionnaire. Cet outil vient compléter ENERGY STAR Portfolio Manager en donnant une orientation sur la façon de fixer des objectifs d'amélioration en fonction de votre cote ENERGY STAR.

Les prochaines étapes appropriées pour votre installation dépendront de votre cote ENERGY STAR :

- Si votre **cote est basse**, vous êtes probablement un bon candidat pour investir dans des **réaménagements majeurs**. En effet, des investissements dans des réaménagements majeurs en respectant une approche par phases auront vraisemblablement la plus grande incidence sur vos résultats.
- Si votre **cote est moyenne**, vous êtes probablement un bon candidat pour investir dans des **ajustements**. Les possibilités d'ajustement à votre installation peuvent impliquer une combinaison de réaménagements majeurs, des améliorations écoénergétiques moins complexes et des pratiques améliorées sur le plan de l'exploitation et de l'entretien.
- Si votre **cote est élevée**, vous devriez investir dans son **entretien**. En plus de maintenir votre rendement en vous concentrant sur l'optimisation continue des bâtiments, vous devriez évaluer périodiquement les possibilités de réaménagement majeur, surtout en ce qui a trait à la gestion de l'actif.

Le **questionnaire** est organisé par :

Phase des réaménagements : Chaque colonne de questions représente une phase précise des réaménagements. Les phases sont présentées de gauche à droite selon l'ordre de l'approche par phases recommandée dans les *Directives sur les réaménagements énergétiques majeurs de RNCAN : Module sur les principes*.

Cote ENERGY STAR : Chaque colonne comporte des mesures représentées par des symboles de forme et de couleur uniques : Entretien, Ajuster ou Investir.

□ **ENTRETENIR**

○ **AJUSTER**

◇ **INVESTIR**

Les installations qui sont de bons candidats pour les investissements devraient considérer toutes les mesures; les installations qui sont de bons candidats pour les ajustements peuvent choisir de concentrer les efforts sur les mesures Ajuster ou Entretien; les installations souhaitant de maintenir leur cote peuvent décider de se concentrer principalement sur les mesures Entretien.

3

PARTIE

Instructions

1. Faites l'analyse comparative de votre installation à l'aide d'ENERGY STAR Portfolio Manager et déterminez votre cote ENERGY STAR.
2. Évaluez la nature des possibilités pour votre installation en répondant au questionnaire par oui, non ou sans objet. Le résultat devrait être une liste des possibilités pertinentes pour votre installation.
3. Consultez les sections du présent module pour en savoir plus sur les mesures pertinentes et confirmer leur applicabilité. Une fois que vous aurez examiné ces détails, il se peut que vous trouviez que certaines possibilités ressorties dans cette liste devraient être marquées comme étant Sans objet, ou qu'elles ne présentent aucun intérêt pour votre organisation.

Établissement des coûts liés aux mesures

Le rendement du capital investi pour des mesures précises varie considérablement en fonction de nombreux facteurs propres à l'installation et à son emplacement. Vous devriez toujours analyser les coûts et les économies en fonction de votre situation particulière. Cependant, les mesures marquées comme étant :

- **ENTREtenir** comportent en général des mesures à faibles coûts avec des périodes de récupération de moins de trois ans.
- **AJUSTER** comportent en général des mesures à faibles ou moyens coûts avec des périodes de récupération pouvant aller jusqu'à cinq ans.
- ✦ **INVESTIR** comportent souvent des mesures de remplacement à coûts élevés. Les périodes de récupération de ces mesures dépassent généralement cinq ans et, dans certains cas, peuvent devoir être justifiées par des travaux associés au renouvellement (p. ex., une amélioration de l'isolation du toit au moment de son remplacement en fin de vie utile). Ces mesures nécessitent dans l'ensemble des analyses financières détaillées pour assurer une bonne analyse de rentabilisation.

Mon installation – Résultats de l'analyse comparative

INTRANTS DE PORTFOLIO MANAGER

Superficie brute : _____
 Heures d'exploitation hebdomadaires : _____
 Nombre d'ordinateurs : _____
 Nombre de travailleurs pendant le quart de travail principal : _____
 % pouvant être chauffé et refroidi : _____

EXTRANTS DE PORTFOLIO MANAGER

Cote ENERGY STAR : _____
 IE du site : _____
 IE à la source : _____
 IE médiane de la propriété : _____

CIBLES

Cote ENERGY STAR ciblée : _____
 IE du site ciblée : _____

Interprétation de la cote ENERGY STAR



Cote ENERGY STAR

Adaptation du système d'évaluation du rendement énergétique de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis.

Immeubles de bureaux – Questionnaire sur les possibilités d'efficacité énergétique

CxBE

- Les horaires de contrôle de l'éclairage et d'occupation correspondent-ils? [p. 8]
- Le système de traitement de l'air fonctionne-t-il selon un calendrier? [p. 8]
- Les points de consigne de températures de zone sont-ils abaissés ou rehaussés durant les heures d'occupation? [p. 9]
- L'équipement de traitement de l'air est-il doté d'un économiseur en bon état pour permettre le refroidissement naturel? [p. 9]
- Les valves des serpentins de chauffage sont-elles fermées durant la saison de refroidissement? [p. 10]
- La plage morte de températures de la zone est-elle suffisamment étendue? [p. 10]
- La température de l'air d'alimentation est-elle réinitialisée en fonction des conditions extérieures? [p. 10]
- Les registres d'air extérieur sont-ils fermés lors du réchauffement matinal durant la saison de chauffage? [p. 10]
- Une purge manuelle est-elle effectuée régulièrement durant la saison de refroidissement? [p. 10]

Améliorations de l'éclairage

- #### Remplacement direct
- Les luminaires à lampe incandescente fréquemment utilisés ont-ils été remplacés par des luminaires DEL? [p. 17]
 - Les panneaux Sortie à éclairage incandescent ont-ils été remplacés par des panneaux DEL? [p. 17]
 - Les luminaires extérieurs ont-ils été remplacés par des luminaires DEL? [p. 17]
 - Les luminaires fluorescents dans les escaliers et les sorties ont-ils été remplacés par des luminaires DEL? [p. 17]
 - Les interrupteurs muraux installés dans les pièces cloisonnées ont-ils été remplacés par des capteurs d'occupation et d'inoccupation? [p. 18]
- #### Nouvelle conception
- ❖ Les lampes ou luminaires inutiles ont-ils été enlevés? [p. 20]
 - ❖ Le système d'éclairage dispose-t-il de réflecteurs spéculaires? [p. 20]
 - ❖ L'intensité des plafonniers a-t-elle été diminuée et a-t-on fourni aux travailleurs un éclairage localisé DEL? [p. 21]
 - ❖ La conception du système d'éclairage maximise-t-elle la lumière naturelle disponible? [p. 22]

Réduction des charges supplémentaires

- #### Charges électriques et équipement
- L'équipement est-il éteint lorsqu'il n'est pas requis? [p. 26]
 - De l'équipement ENERGY STAR est-il utilisé, s'il y a lieu? [p. 26]
 - A-t-on mis en place une politique concernant les appareils électriques personnels? [p. 26]
 - Un programme de sensibilisation des employés à la consommation d'énergie a-t-il été mis en oeuvre? [p. 26]
 - ❖ Les transformateurs ont-ils été remplacés par des modèles écoénergétiques? [p. 27]
 - ❖ Le centre de traitement des données a-t-il été réaménagé? [p. 27]
- #### Enveloppe
- ❖ Les problèmes d'infiltration ont-ils été réglés? [p. 30]
 - ❖ Un pare-air a-t-il été ajouté ou, s'il y en avait déjà un, amélioré? [p. 32]
 - ❖ Les niveaux d'isolation du toit et des murs répondent-ils aux exigences du CNEB? [p. 33]
 - ❖ Les portes et fenêtres ont-elles été améliorées? [p. 33]
 - ❖ Le bâtiment a-t-il un « toit blanc »? [p. 35]

Amélioration des systèmes de distribution de l'air

- ❖ Est-ce qu'il y a un système de VSD? [p. 43]
- ❖ Le système à DAC de réchauffage multizone ou à deux conduits a-t-il été converti en système à DAV moderne? [p. 44]
- ❖ La capacité des ventilateurs et des moteurs est-elle appropriée? [p. 44]
- ❖ Des EV ont-ils été ajoutés aux pompes et aux ventilateurs qui ont des charges variables? [p. 44]
- ❖ La chaleur est-elle récupérée des flux d'air évacué? [p. 45]
- ❖ L'air extérieur est-il préchauffé par un système de chauffage de l'air solaire? [p. 45]
- ❖ Est-ce qu'il y a un système à DRV? [p. 46]
- ❖ Le système de distribution d'air mélangé a-t-il été remplacé par un système 100 % air extérieur? [p. 46]
- ❖ Les filtres à air existants ont-ils été remplacés par des épurateurs d'air électroniques? [p. 47]

Redimensionnement et remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement

- #### Chauffage central
- ❖ Le système de contrôle des chaudières a-t-il été remplacé? [p. 50]
 - ❖ Les valves d'étranglement du débit ont-elles été éliminées? [p. 50]
 - ❖ Les pompes ont-elles été remplacées par des unités de capacité appropriée? [p. 51]
 - ❖ Les pompes d'eau refroidie sont-elles contrôlées par EV? [p. 51]
 - ❖ De nouveaux brûleurs ont-ils été installés sur les chaudières existantes? [p. 51]
 - ❖ Des turbulateurs ont-ils été installés dans les chaudières à tube de fumée? [p. 52]
 - ❖ Une nouvelle chaudière à condensation a-t-elle été installée? [p. 52]
 - ❖ Une nouvelle chaudière à modulation a-t-elle été installée? [p. 53]
 - ❖ Un nouveau système de chaudières hybride a-t-il été installé? [p. 53]
 - ❖ Un nouveau système de thermopompe a-t-il été installé? [p. 54]
- #### Refroidissement central
- ❖ Les valves d'étranglement du débit ont-elles été éliminées? [p. 60]
 - ❖ Les conduits d'eau refroidie sont-ils isolés? [p. 60]

- ❖ Le système d'éclairage utilise-t-il des ballasts adressables? [p. 24]
- ❖ Toutes les options DEL ont-elles été considérées? [p. 24]
- ❖ Un système centralisé de contrôle de l'éclairage a-t-il été installé? [p. 25]

- Le point de consigne de pression statique du système à DAV est-il automatiquement réinitialisé au moyen d'une boucle de rétroaction de contrôle en fonction des zones? [p. 10]
- Les registres de zone à DAV fonctionnent-ils adéquatement? [p. 11]
- Est-il possible de réduire les points de consigne minimaux des flux des boîtes à DAV? [p. 11]
- Les capteurs des systèmes de contrôle automatique de bâtiment ont-ils été calibrés récemment? [p. 11]
- Une stratégie de contrôle d'optimisation du démarrage matinal a-t-elle été appliquée au système de CVCA? [p. 11]
- Les ventilations de système de CVCA ont-elles été corrigées? [p. 11]
- Les déséquilibres entre l'air d'alimentation et l'air évacué ont-ils été corrigés? [p. 12]
- Le point de consigne de l'humidification excède-t-il les exigences minimales? [p. 12]
- Les chaudières multiples ont-elles été mises en séquence pour fonctionner plus efficacement? [p. 12]
- A-t-on mis en place une stratégie de contrôle de la réinitialisation du chauffage de l'eau? [p. 12]
- Les refroidisseurs multiples ont-ils été mis en séquence pour fonctionner plus efficacement? [p. 12]
- A-t-on mis en place une stratégie de contrôle de la réinitialisation du refroidissement de l'eau? [p. 12]
- A-t-on mis en place une stratégie de contrôle de la réinitialisation de l'eau du condenseur? [p. 12]
- Tire-t-on pleinement profit des tours de refroidissement? [p. 13]
- A-t-on réparé l'isolation endommagée des conduits ou remplacé celle qui est manquante? [p. 13]

- ❖ Les pompes ont-elles été remplacées par des unités de capacité appropriée? [p. 60]
- ❖ Les pompes du système de refroidissement à l'eau sont-elles contrôlées par EVV? [p. 60]
- ❖ De nouveaux compresseurs ont-ils été installés sur les refroidisseurs existants? [p. 61]
- ❖ Des dispositifs de démarrage progressif à basse tension ont-ils été installés sur les refroidisseurs non contrôlés par EVV? [p. 61]
- ❖ Les vieux refroidisseurs d'efficacité standard ou surdimensionnés ont-ils été remplacés par des systèmes de refroidissement à l'eau à haute efficacité de capacité appropriée? [p. 61]
- ❖ Des économiseurs à l'eau ont-ils été installés pour permettre aux tours de refroidissement de produire un refroidissement naturel lorsque les conditions météorologiques le permettent? [p. 62]

Unités de toit

- ❖ Le système à DAC a-t-il été converti en système à DAV avec contrôle selon la demande et un économiseur? [p. 65]
- ❖ Des contrôleurs de compresseurs ont-ils été installés sur les unités de toit pour réduire le temps de fonctionnement? [p. 65]
- ❖ Un registre d'économiseur a-t-il été ajouté? [p. 66]
- ❖ Un dispositif de récupération de chaleur ou d'énergie a-t-il été ajouté? [p. 66]
- ❖ Les unités de toit âgées ont-elles été remplacées par de nouvelles unités à haute efficacité? [p. 66]

Eau chaude domestique

- Des aérateurs et des pommes de douche à débit réduit ont-ils été installés? [p. 67]
- Le système de recirculation de l'eau chaude a-t-il été programmé? [p. 67]
- ❖ Les chaudières à eau chaude ou les chauffe-eau ont-ils été remplacés par des unités à haut rendement? [p. 67]
- ❖ Les systèmes de distribution d'eau chaude à réservoir ont-ils été remplacés par des systèmes à la demande? [p. 68]