



AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE des systèmes de chauffage



Ressources naturelles
Canada
Office de l'efficacité
énergétique

Natural Resources
Canada
Office of Energy
Efficiency

Canada

Amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage

Août 2001

Rédigé par :

Paul Dockrill

Frank Friedrich

Programme fédéral des chaudières industrielles

Ressources naturelles Canada

Centre de la technologie de l'énergie de CANMET

1, chemin Haanel

Nepean (Ontario) K1A 1M1

N° de catalogue : M92-229/2001F

ISBN 0-662-86071-3

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2001

This document is also available in English under the title: *Boilers and Heaters:
Improving Energy Efficiency*

**Il est permis de reproduire cette publication et cette affiche à des fins non
commerciales avec mention adéquate des sources.**

Produit en partenariat avec :



Ontario



uniongas



Imprimé sur papier recyclé

Avant-propos	ii
Notions de base sur la combustion et les pertes de chaleur	1
Contrôle d'exploitation des systèmes de chauffage	4
Répercussions de la combustion sur l'environnement	7
À propos des règlements sur la combustion	9
Amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage	10
Possibilités de gestion de l'énergie – Conseils	17
Annexe : Modèle de liste de contrôle pour la vérification d'un système de chauffage	21

Le présent guide est destiné aux propriétaires et aux opérateurs de systèmes de chauffage désirant améliorer le rendement énergétique de leurs installations. Puisque ces lecteurs ont déjà des notions de base relatives aux procédés de combustion et aux activités qui s'y rapportent, ces concepts et les répercussions de la combustion sur l'environnement, particulièrement les émissions d'oxyde d'azote (NO_x), ne sont que brièvement mentionnés dans cet ouvrage. Pour obtenir plus de précisions à ce sujet, veuillez consulter d'autres sources.

Axé sur des conseils pratiques en vue d'améliorer l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage, ce guide vise à encourager le lecteur à réfléchir sur les moyens d'augmenter cette efficacité et de réduire les conséquences environnementales provoquées par la consommation d'énergie, tout en respectant la politique du gouvernement du Canada sur le changement climatique.

UNITÉS DE MESURE

Bien que le Canada utilise officiellement le Système international d'unités (SI) ou système métrique, son principal partenaire commercial, les États-Unis, ne l'emploie pas. Par conséquent, une grande partie du matériel industriel, tels les conduits en acier, est produite en fonction des mesures impériales. En outre, de nombreux codes et normes américains rédigés selon les mesures impériales, comme ceux permet-

tant de déterminer l'efficacité d'une chaudière, ont été adoptés à titre de norme industrielle au Canada. Puisque la plupart des installations thermiques utilisent les unités métriques et impériales pour leur équipement, ce document offre les deux systèmes, en présentant l'unité métrique en premier.

REMERCIEMENTS ET DÉNI DE RESPONSABILITÉ

Ce guide s'inspire du document intitulé *An Energy Efficiency and Environment Primer for Boilers and Heaters*, publié conjointement en l'an 2000 par la Direction des partenariats environnementaux du ministère de l'Environnement de l'Ontario, Union Gas Limited, Enbridge Consumers Gas et l'Office de l'efficacité énergétique (OEE) de Ressources naturelles Canada (RNCan). L'OEE a financé le projet sous l'égide du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC). L'OEE a également financé cette version condensée du Guide d'introduction (Notions de base) présentant de plus amples renseignements, particulièrement en ce qui a trait aux émissions provoquées par la combustion.

Les idées et les opinions exprimées dans ce guide sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions et les politiques des organismes bailleurs de fonds. Les possibilités génériques qui se trouvent dans le présent guide ne représentent pas des recommandations pour leur mise en œuvre dans un site en particulier. Avant de modifier le matériel ou les méthodes d'exploitation, consulter des professionnels qualifiés et effectuer une évaluation approfondie du site.

SOURCES D'INFORMATION DIVERSE

Ressources naturelles Canada
Office de l'efficacité énergétique
Efficacité énergétique dans le secteur industriel
580, rue Booth, 18^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Télec. : (613) 947-4121
Site Web : <http://oee.rncan.gc.ca>

Le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) produit d'excellentes publications techniques industrielles, dont la plupart traitent de l'efficacité énergétique. Elles comprennent des monographies propres à un secteur d'activités, des rapports de projets et des fiches de renseignements, parmi lesquels on retrouve le *Programme fédéral des chaudières industrielles*. Pour obtenir une liste des publications courantes, communiquer avec :

M. Rudy Lubin
Bureau de l'information technique et
de la coordination
Ressources naturelles Canada
Centre de la technologie de l'énergie
de CANMET
580, rue Booth, 13^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Tél. : (613) 996-6220
Télec. : (613) 947-1016
Courriel : rlubin@rncan.gc.ca

Parmi les guides pertinents de la Série de la gestion de l'énergie de RNCAN, on retrouve :

- *Isolation thermique des équipements*
(n° M91-6-001F)
- *Appareillage de chaufferie* (n° M91-6-006F)
- *Fours, sécheurs et fours de cuisson*
(n° M91-6-007F)
- *Réseaux de vapeur et de condensat*
(n° M91-6-008F)
- *Récupération de la chaleur perdue*
(n° M91-6-020F)

De même, le document cité précédemment sous le titre *An Energy Efficiency and Environmental Primer for Boilers and Heaters* est une excellente référence.

Pour se procurer un exemplaire, communiquer avec :

M. Magella Bouffard
Office de l'efficacité énergétique
Ressources naturelles Canada
580, rue Booth, 18^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Tél. : (613) 996-3799
Télec. : (613) 947-4121
Courriel : mbouffar@rncan.gc.ca

LES PROCÉDÉS DE COMBUSTION, principaux producteurs d'énergie de notre civilisation par le passé, le sont encore aujourd'hui et le seront toujours dans un proche avenir. Les combustibles fossiles étant brûlés à un rythme toujours croissant, il est essentiel de bien gérer ces procédés afin de préserver l'environnement et d'assurer la viabilité de notre civilisation.

Les mêmes principes de combustion s'appliquent aux chaudières, aux appareils de chauffage et aux autres formes de combustion industrielle, tels les foyers et les chambres de combustion. Dans ce contexte, **le terme « chaudière », tel que cité dans ce document, est interchangeable avec le terme « appareil de chauffage »** (à moins d'indication contraire).

Les combustibles traditionnels se composent essentiellement de deux éléments : carbone et hydrogène. Au cours de la combustion, ils se combinent à l'oxygène pour produire de la chaleur et le pouvoir calorifique provient du contenu en carbone et en hydrogène. Les combustibles non fossiles, comme la biomasse et l'alcool, contiennent également de l'oxygène dans leurs structures moléculaires.

Idéalement, la combustion décompose la structure moléculaire du combustible : le carbone s'oxyde en gaz carbonique (CO_2) et l'hydrogène en vapeur d'eau (H_2O). Toutefois, un procédé incomplet crée des produits indésirables et dangereux. Pour assurer une combustion totale, même les équipements modernes aux nombreuses caractéristiques doivent fonctionner avec un excès d'air. Autrement dit, afin d'obtenir une combustion totale, il faut faire passer plus d'air (ayant environ 21 p. 100 d'oxygène par volume) par le brûleur qu'il n'est nécessaire du point de vue chimique. Cet excès d'air accélère le mélange air-combustible.

D'une part, au cours de ce procédé, il est certain que la presque totalité du combustible reçoit l'oxygène nécessaire pour être brûlé avant qu'il ne se refroidisse à des températures inférieures à la combustion à cause d'un contact aux surfaces d'échange thermique. Cela empêche également tout résidu de combustion d'exploser à l'intérieur de la chaudière.

D'autre part, l'excès d'air gaspille l'énergie en propageant la chaleur dans le carneau. Il existe une distinction subtile entre l'efficacité énergétique et la sécurité quand il s'agit de fournir le moins d'air possible au brûleur. Ainsi, les propriétaires et les opérateurs de chaudières voudront savoir si leurs activités sont rentables. L'objectif étant d'améliorer l'efficacité énergétique des chaudières, il serait utile d'examiner les causes de pertes thermiques dans le fonctionnement d'une chaudière.

LES PERTES DE CHALEUR d'une chaudière sont bien décrites par l'American Society of Mechanical Engineers (ASME) dans son rigoureux code d'essai de puissance PTC4.1 (1973). Ce code s'applique à toute catégorie de combustible utilisé, mais la plupart des systèmes de chauffage au Canada fonctionnent au gaz naturel ou au mazout et de nombreuses pertes répertoriées dans le code ne s'y appliquent pas. D'autres systèmes sont suffisamment petits pour que leurs pertes figurent sous une catégorie « non comptabilisée », pour laquelle on ne peut que présumer une valeur. Une méthode simplifiée pour quantifier l'efficacité d'une chaudière est utilisée selon cette équation :

$$\% \text{ d'efficacité (E)} = (\text{sortie} / \text{entrée}) + 100,$$

où : $\text{sortie} = \text{entrée} \times \text{pertes}$

Autrement,

$$\% \text{ d'efficacité (E)} = 100 \times \text{pertes}$$

où les pertes peuvent être calculées selon le code d'essai de puissance de l'ASME

Comme ce code utilise les mesures impériales, il est nécessaire de convertir les températures en degrés Fahrenheit (°F) et les unités thermiques en Btu par livre. Cette conversion est réalisable selon la formule de conversion suivante :

$$\begin{aligned} ^\circ\text{F} &= (1,8 \text{ } ^\circ\text{C}) + 32 \\ \text{Btu/lb} &= 0,4299 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Les quatre principales catégories de pertes de chaleur suivantes s'appliquent aux systèmes de chauffage alimentés au gaz naturel ou au mazout.

Perte de gaz de carneau (PGC)

La chaleur se perd dans les produits de combustion « secs » qui ne propagent que la chaleur sensible étant donné qu'il n'y a eu aucun changement d'état. Ces produits sont le gaz carbonique (CO₂), le monoxyde de carbone (CO), l'oxygène (O₂), l'azote (N₂) et le dioxyde de soufre (SO₂). En général, le SO₂ et le CO ne figurent que dans des concentrations correspondant à des parties par million dont on peut ne pas tenir compte, du point de vue perte thermique. Calculer la perte de gaz de carneau (PGC) selon la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{PGC} &= [24 + \text{GS} + (\text{TGC} \times \text{TAC})] / \text{PCS}, \text{ où :} \\ \text{GS (gaz sec) (lb/lb comb.)} &= (11 \text{ CO}_2 + 8 \text{ O}_2 + 7 \text{ N}_2) \\ &\times (\text{C} + 0,375 \text{ S}) \div 3 \text{ CO}_2 \\ \text{TGC} &= \text{Température des gaz de carneau, } ^\circ\text{F} \\ \text{TAC} &= \text{Température de l'air comburant, } ^\circ\text{F} \\ \text{PCS} &= \text{Pouvoir calorifique supérieur, Btu/lb} \\ \text{CO}_2 \text{ et O}_2 &= \text{pourcentage par volume dans les} \\ &\text{gaz de carneau} \\ \text{N}_2 &= 100 - \text{CO}_2 - \text{O}_2 \\ \text{C et S} &= \text{fraction de poids dans l'analyse du combustible} \end{aligned}$$

La réduction de l'excès d'air au minimum permet de diminuer les pertes de gaz de carneau.

Perte causée par l'humidité provenant de la combustion d'hydrogène (PH)

L'hydrogène contenu dans le combustible quitte la chaudière sous forme de vapeur d'eau, entraînant l'enthalpie, ou la chaleur totale, correspondant à ses conditions de température et de pression. La pression de la vapeur est très faible, mais sa température de carneau est élevée et la plus grande partie de son enthalpie se situe dans la chaleur de vaporisation. L'importance de la perte est d'environ 11 p. 100, dans le cas du gaz naturel, et de 7 p. 100, dans le cas du mazout. Calculer la perte (PH) comme suit :

$$\begin{aligned} \text{PH (\%)} &= [900 + \text{H}_2 + (\text{hg} \times \text{hf})] / \text{PCS}, \text{ où :} \\ \text{H}_2 &= \text{fraction du poids d'hydrogène dans l'analyse} \\ &\text{du combustible} \\ \text{hg} &= 1\,055 + (0,467 + \text{TGC}), \text{ Btu/lb} \\ \text{hf} &= \text{TAC} - 32, \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

Où hg est de l'hydrogène gazeux et hf de l'hydrogène utilisé comme carburant.

Seul un échangeur de chaleur à condensation réduira cette perte de manière importante.

Perte de chaleur par rayonnement ou convection (PR)

Cette perte provient des surfaces externes d'une chaudière en marche. La perte est constante pour toute chaudière utilisée à une température de fonctionnement. Exprimée selon le pourcentage du rendement thermique d'une chaudière, la perte augmente à mesure que le rendement diminue. Ainsi, faire fonctionner la chaudière à pleine charge permet de réduire le pourcentage de perte. Comme l'étendue de la surface d'une chaudière se rapporte à sa masse, la perte relative d'une grosse chaudière est inférieure à la perte d'une chaudière plus petite.

Plutôt que de faire des calculs complexes, déterminer la perte par rayonnement et convection à l'aide d'un tableau étalon qu'on peut se procurer auprès de la American Boiler Manufacturers Association (ABMA).

Pertes non comptabilisées (PNC)

Pour les motifs mentionnés précédemment, utiliser une valeur de perte présumée de 0,1 p. 100 pour les chaudières alimentées au gaz naturel et de 0,2 p. 100 pour les chaudières alimentées au mazout.

Calculer ensuite l'efficacité comme suit :

Efficacité (E) % = 100 × PGC × PH × PR × PNC,
où :

PGC = Perte de gaz de carneau

PH = Perte causée par l'humidité provenant de la combustion d'hydrogène

PR = Perte de chaleur par rayonnement ou convection

PNC = Pertes non comptabilisées

Commencer tout programme de gestion de l'énergie pour un système de chauffage par l'évaluation de son niveau d'efficacité actuel. Observer ensuite périodiquement son rendement pour évaluer l'effet des mesures prises pour économiser l'énergie et fixer des objectifs d'amélioration.

Le moyen le plus simple pour calculer l'efficacité combustible-vapeur est la méthode directe de calcul (**consulter le tableau 1**), au moyen des données de génération de vapeur et de consommation de combustible provenant des journaux d'exploitation. Toutefois, cette méthode pourrait ne pas être aussi précise que la méthode indirecte en raison des erreurs dans le mesurage du débit du combustible et de celui de la vapeur.

Tableau 1. Méthode directe pour calculer l'efficacité d'un système de chauffage

1. Mesurer le débit de vapeur par kg (ou lb) pendant une période donnée, par exemple une heure. Si possible, utiliser les relevés d'un intégrateur-vapeur et corriger la pression de sortie ou utiliser l'intégrateur d'eau d'alimentation qui, dans la plupart des cas, ne nécessitera pas une correction de pression.
2. Mesurer le débit du combustible pendant la même période donnée. Utiliser un intégrateur de gaz ou de mazout, ou déterminer la masse du combustible solide utilisé.
3. Convertir le débit de vapeur, d'eau d'alimentation et de combustible à des unités énergétiques identiques, par exemple Btu/lb ou kJ/kg.
4. Calculer l'efficacité à l'aide de l'équation suivante :
Efficacité = 100 × (énergie de la vapeur × énergie d'eau d'alimentation) ÷ énergie du combustible

Dans ce guide, on a précédemment expliqué pourquoi il faut faire fonctionner une chaudière avec plus d'air qu'il n'est théoriquement nécessaire pour brûler tout le combustible. Les commandes d'un brûleur sont donc toujours réglées pour fournir une certaine quantité d'air en excès, toutes conditions de fonctionnement considérées, soit en général, de 2 à 5 p. 100 d'oxygène dans les gaz de carneau. Le guide a également souligné que l'air en excès provoque une perte de chaleur lorsqu'il pénètre dans le système de combustion à la température ambiante et en sort à la température des gaz de carneau. Par conséquent, une réduction de la teneur en oxygène dans les gaz de carneau diminuera la perte thermique.

En général, la réduction de l'oxygène dans les gaz de carneau de un point de pourcentage (par exemple, de 5 à 4 p. 100), entraîne une augmentation de l'efficacité d'une chaudière de 2,5 p. 100.

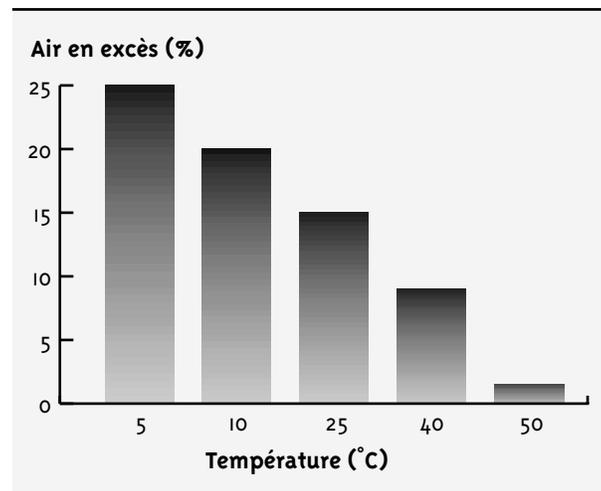
Le contrôle de l'air en excès est l'outil le plus important pour ce qui est de la gestion de l'efficacité énergétique et des émissions atmosphériques d'une chaudière.

Il est important de se rappeler que le rapport air-combustible est établi en fonction de la masse et non du volume. Il faut donc contrôler la masse d'air fournie à la masse du combustible utilisé (par exemple, kilogramme par kilogramme). La densité de l'air et des combustibles gazeux change selon la température et la pression, et il faut en tenir compte dans le contrôle du rapport air-combustible. Par exemple, si la pression est stable, la masse d'air circulant dans un conduit diminue à mesure que la température augmente. En conséquence, on devrait pouvoir changer les commandes en fonction des

variations de température saisonnières et idéalement, des écarts entre le jour et la nuit également (surtout au printemps et à l'automne, lorsque les températures journalières varient considérablement). Comme l'indique la **figure 1**, l'effet de la température de l'air sur l'excès d'air dans les gaz de carneau peut être impressionnant.

Dans le même ordre d'idées, la masse de gaz naturel circulant dans un tuyau chutera si la pression dans le tuyau d'alimentation diminue. Cela pourrait se produire lorsque le débit du combustible vers une deuxième chaudière augmente. Le débit constant des combustibles liquides, bien que moins influencé par la température, dépend quand même d'une pression d'alimentation stable vers une soupape conservant une position constante. Si la pression augmente (par exemple, lorsqu'une deuxième pompe est mise en marche), le débit du mazout, à une position de soupape déterminée, augmentera en conséquence.

Figure 1. Effets de la température de l'air sur le niveau de l'air en excès



Les écarts de pression et de température peuvent être corrigés par des systèmes perfectionnés de régulation d'air et de combustible, lesquels sont souvent onéreux. Pour éviter une telle dépense, on a souvent recours à des systèmes plus simples, moins précis et réglés à des marges plus grandes d'excès d'air en vue d'éviter un manque d'air. Ces systèmes ne peuvent pas assurer un fonctionnement continu optimal. En raison de pertes de chaleur plus élevées (c'est-à-dire des rendements énergétiques moindres) associées aux systèmes de contrôle moins perfectionnés, il serait profitable d'évaluer l'intérêt à investir dans un système de contrôle haut de gamme.

En ce qui concerne l'équipement de combustion actuellement en place, le principal moyen pour maximiser l'efficacité des systèmes de chauffage consiste à mesurer l'excès d'air et à le réduire au minimum. Optimiser l'air en excès (désigné également sous le terme de « régulation d'oxygène ») signifie régler la circulation d'air dans le brûleur pour qu'elle corresponde au débit du combustible. Les réglages d'un brûleur, étalonnés à l'origine au cours de sa mise en service, devraient être examinés périodiquement. Le monoxyde de carbone (CO) est un indicateur sensible de combustion incomplète dont les concentrations devraient se situer entre zéro et peut-être 50 parties par million (ppm) par volume, au lieu de correspondre à la limite environnementale habituelle de 400 ppm. Chaque chaufferie devrait être équipée d'analyseurs étalonnés avec précision pour mesurer l'oxygène, le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote (NO_x).

Une brève description des genres de dispositifs de régulation d'air et de combustible pouvant servir d'idées d'améliorations est présentée ci-après par ordre croissant de qualité et de coût.

Commandes marche-arrêt et à deux intensités

L'utilisation des commandes marche-arrêt et à deux intensités ne convient qu'aux procédés tolérant des cycles de température et de pression, tels les appareils de chauffage.

Commandes à faux-essieu mécanique

La plus simple des catégories de régulation de brûleur à action proportionnelle est utilisée dans les petits brûleurs, où on ne peut justifier le coût de systèmes plus complexes. Ces commandes ne peuvent pas mesurer la circulation d'air ni le débit de combustible. Le jeu dans le faux-essieu et les articulations nécessite des réglages à excès d'air plus élevés que nécessaire pour garantir un fonctionnement sûr, peu importe les conditions. La plage de régulation d'oxygène (correction d'oxygène) est limitée. La réponse de commande doit être très lente pour permettre au brûleur d'atteindre un état stable avant que la correction d'oxygène agisse.

Commandes parallèles

Des circuits séparés dans des commandes parallèles permettent de régler le débit du combustible et la circulation d'air grâce à la commande d'un régulateur central. L'opérateur peut régler le débit et la circulation séparément et neutraliser les réglages automatiques qui sont généralement appliqués à des chaudières plus anciennes de taille moyenne et munies de commandes pneumatiques. Leur rendement et leur sécurité de fonctionnement peuvent être améliorés par l'ajout d'avertisseurs signalant si la position d'une commande a changé ou si un étalonnage a disparu. De plus, un régulateur supplémentaire pourrait être ajouté pour la correction d'oxygène. Les inconvénients des commandes parallèles sont similaires à ceux des commandes à faux-essieu mécanique.

Commande de limite croisée

Habituellement installée sur des chaudières plus grosses, la commande de limite croisée peut permettre de détecter et de compenser certains facteurs influençant le rapport optimal air-combustible. Cette commande mesure la circulation d'air et le débit du combustible, et règle la circulation d'air pour maintenir la valeur optimale établie pendant les essais d'étalonnage. La composition des gaz de carneau peut être surveillée et employée pour le réglage de l'air. Le fonctionnement des chaudières est plus sûr lorsque la quantité d'air qui y circule ne chute pas au-dessous du minimum nécessaire pour brûler le combustible présent, et lorsque le débit de combustible n'augmente pas au-delà du seuil auquel la circulation d'air lui permet de brûler. La correction d'oxygène est possible mais sa plage de réglage est limitée. Cette mesure doit également être effectuée assez lentement pour permettre aux commandes principales d'atteindre l'équilibre recherché.

Régulation automatique de l'air en excès (correction d'oxygène)

Le coût élevé d'un analyseur d'oxygène et de son installation restreint l'utilisation de la correction d'oxygène aux grosses chaudières consommant du combustible pour une valeur annuelle allant de 100 000 à 1 million de dollars. En utilisant l'analyseur d'oxygène, on augmente l'efficacité énergétique de 1 à 2 p. 100. Dans le cas des très grosses chaudières, où des gains énergétiques de 0,1 p. 100 se traduisent par d'importantes économies annuelles, on peut aussi habituellement mesurer le monoxyde de carbone.

Au cours des dernières années, les effets négatifs de la combustion sur l'environnement, notamment les émissions de gaz à effet de serre (GES), qui contribuent au réchauffement de la planète, ont beaucoup retenu l'attention. Le Protocole de Kyoto (1997) traite de cette question et le Canada, qui en est signataire, s'est engagé à réduire, entre 2008 et 2012, ces émissions de 6 p. 100 par rapport aux niveaux de 1990. Le changement climatique provoqué par le réchauffement de la planète représente l'un des plus grands défis que doivent relever non seulement le Canada mais le monde entier. Une meilleure gestion des procédés de combustion ainsi qu'une production et une consommation d'énergie plus efficaces sont deux des stratégies clés pour

réduire les émissions atmosphériques. C'est donc pour cette raison que ce guide est publié en parallèle avec la politique du Canada en matière de changement climatique en tant qu'outil de mise en œuvre.

Au Canada, la collaboration des propriétaires et des opérateurs d'équipement de combustion est indispensable pour atteindre l'objectif de réduction des émissions de GES et des pluies acides. Le présent guide ne décrit que brièvement les émissions; pour obtenir une liste de quelques émissions engendrées par les systèmes de combustion et de leurs effets, voir le **tableau 2**. Pour de plus amples renseignements à ce sujet, consulter le document intitulé *An Energy Efficiency and Environment Primer for Boilers and Heaters*.

Tableau 2. Émissions engendrées par les systèmes de combustion et leurs effets

ÉMISSION	SOURCE	EFFET	POTENTIEL DES GES LIÉS AU CO ₂
CO ₂ (gaz carbonique)	Combustion complète du carbone contenu dans le combustible	Réchauffement de la planète	1
CO (monoxyde de carbone)	Combustion incomplète du carbone contenu dans le combustible	Smog	
SO ₂ (dioxyde de soufre)	Combustion du soufre contenu dans le combustible	Smog, pluie acide	
NO _x (oxydes d'azote)	Sous-produit de la plupart des procédés de combustion	Pluie acide	
N ₂ O (oxyde nitreux)	Sous-produit de certains procédés de combustion	Réchauffement de la planète	310
COV (composés organiques volatils)	Fuite et évaporation de combustibles liquides (engendrés p. ex. par les véhicules, les réservoirs de carburant, les pompes à carburant, les raffineries et les solvants des peintures)	Smog	
CH ₄ (méthane)	Composé principal du gaz naturel; fuite des puits de gaz, des canalisations et des réseaux de distribution	Réchauffement de la planète	21
H ₂ O (vapeur d'eau)	Combustion de l'hydrogène contenu dans le combustible	Brouillard localisé	
Particules (poussière, suie, fumées)	Carbone et hydrocarbures non brûlés ou brûlés partiellement; cendres et saletés contenues dans le combustible	Smog	
Éléments traces	Impuretés dans le combustible	Agents carcinogènes potentiels	
Composés halogénés	Composés de combustible ou d'air comburant contenant des halogènes (chlore, fluor, brome et iode)	Agents carcinogènes potentiels, réchauffement de la planète	Jusqu'à 24 000

Tableau 3. Directives du CCME* sur les émissions de NO_x pour les systèmes de chauffage neufs

CAPACITÉ D'ALIMENTATION	LIMITE D'ÉMISSION DE NO _x , g/GJ** ET PPM (À 3 % O ₂)***	
	10,5 À 105 GJ/h (10 À 100 MILLIONS Btu/h)	SUPÉRIEURE À 105 GJ/h (>100 MILLIONS Btu/h)
Gaz naturel	26 (49,6)	40 (76,3)
Mazout distillé	40 (72,3)	50 (90,4)
Huiles résiduelles contenant moins de 0,35 % d'azote	90 (162,7)	90 (162,7)
Huiles résiduelles contenant au moins 0,35 % d'azote	110 (198,9)	125 (226,0)

* Le Conseil canadien des ministres de l'environnement

** g/GJ = grammes de NO_x émis par gigajoule d'alimentation en combustible

*** ppm = parties par million par volume, corrigées à 3 % O₂ dans les gaz de carneau (10 000 ppm = 1 %)

Pour corriger les ppm de NO_x à 3 % O₂ : NO_x à 3 % O₂ = [NO_x mesuré x 17,9] ÷ [20,9 - O₂], où O₂ est l'oxygène mesuré dans les gaz de carneau, base sèche

Pour convertir les ppm NO_x à 3 % O₂ à g/GJ : pour le gaz naturel, g/GJ = ppm ÷ 1,907; pour le mazout, g/GJ = ppm ÷ 1,808

Tableau 4. Émissions courantes de NO_x sans équipement de contrôle de NO_x

TYPE DE COMBUSTIBLE ET DE CHAUDIÈRE	ÉMISSIONS COURANTES DE NO _x (PPM À 3 % O ₂)	
Gaz naturel	• Tube de fumée	75-115
	• Tube d'eau préfabriqué	40-90
	• Tube d'eau sur le site	45-105
Huile n° 2	• Tube de fumées	70-140
	• Tube d'eau préfabriqué	90-150
	• Tube d'eau sur le site	40-115
Huile n° 4	• Tube d'eau préfabriqué	160-310
	• Tube d'eau sur le site	140-190
Huile n° 6	• Tube d'eau préfabriqué	200-360
	• Tube d'eau sur le site	190-330

Bien que les autres GES, installation pour installation, aient des effets plus puissants que le CO₂, ce dernier demeure le gaz à effet de serre le plus important en raison de son volume. En 1997, il représentait les trois quarts des émissions totales du Canada. La plus grande partie des émissions de CO₂ sont générées par la consommation de combustibles à des fins domestiques, industrielles, de transport ou de production d'électricité. C'est pour cette raison que l'application de mesures d'efficacité énergétique visant la diminution de la consommation de combustibles est essentielle pour réduire les émissions de CO₂.

Les consommateurs de combustibles doivent relever deux défis. L'un est d'ordre économique : obtenir le meilleur rapport qualité-prix; l'autre concerne l'environnement : maintenir les émissions faibles, c'est-à-dire du moins dans les limites prescrites par les règlements. Heureusement, les éléments qui favorisent le premier objectif s'appliquent également au second.

On autorise des limites moins sévères pour l'équipement dont l'efficacité supérieure à la normale a été démontrée et qui, par conséquent, consomme moins de combustible. Les provinces et les territoires sont responsables de la mise en application des limites et peuvent en imposer de plus strictes. Ils ont également la responsabilité de déterminer dans quelle mesure les directives s'appliquent aux systèmes de chauffage modifiés ou remis en état.

Les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x) contribuent aux pluies acides et par conséquent, posent également un problème. Le contrôle des émissions de SO₂ s'effectue en limitant la concentration en soufre admise dans le combustible, mais la réduction des émissions de NO_x est possible en modifiant le processus de combustion. On peut trouver les directives concernant les systèmes de chauffage neufs dans le **tableau 3**, et une description des stratégies permettant de respecter les règlements relatifs aux émissions de NO_x dans le document intitulé *An Energy Efficiency and Environmental Primer for Boilers and Heaters*.

En mars 1998, Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a publié le document intitulé *Ligne directrice nationale sur les émissions des chaudières commerciales et industrielles et des fours* qui s'applique aux systèmes de chauffage **neufs** alimentés principalement au gaz naturel, au mazout distillé ou à l'huile résiduelle. Toutefois, cela ne s'applique pas aux chaudières de secours, soit celles qui fonctionnent moins de 500 heures par an. Les systèmes de chauffage existants n'ont pas à être conformes aux directives présentées dans ledit document. Si une chaudière ou un appareil de chauffage est remis en état, le CCME suggère l'application des directives dans les cas suivants :

- a) Le coût de la remise en état du système de chauffage est supérieur à 50 p. 100 du total des coûts réels établis;
- b) Les travaux de remise en état comprennent le remplacement d'un brûleur et les coûts dépassent 12,5 p. 100 du total des coûts réels établis.

Dans les directives, une des nombreuses exceptions s'applique aux systèmes de chauffage dont la capacité d'alimentation est inférieure à 10,5 GJ/h (10 millions Btu/h). Il faut se rappeler que les crédits relatifs aux émissions sont autorisés en cas d'amélioration de l'efficacité énergétique (par exemple de la consommation du combustible et de la récupération de chaleur).

Les provinces et les territoires peuvent incorporer les directives dans leur législation sur l'environnement. On peut se procurer les règlements applicables dans les provinces et les territoires auprès des ministères de l'environnement. Pour obtenir le texte complet des directives, communiquer avec le CCME :

Documents du CCME
 a/s Direction des publications officielles
 du Manitoba
 200, rue Vaughan
 Winnipeg (Manitoba) R3C 1T5
 Tél. : (204) 945-4664
 Téléc. : (204) 945-7172

AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE

10

Figure 2. Programme d'amélioration de l'efficacité des chaudières

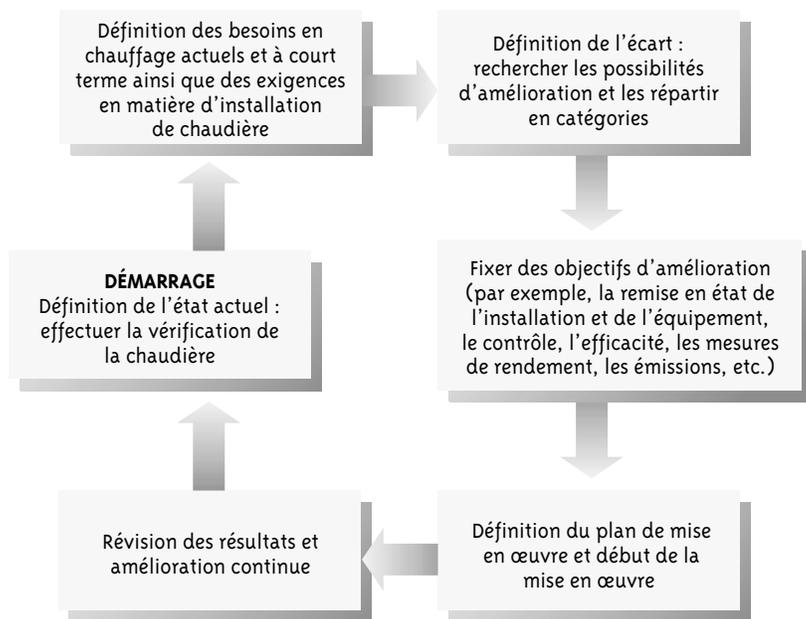
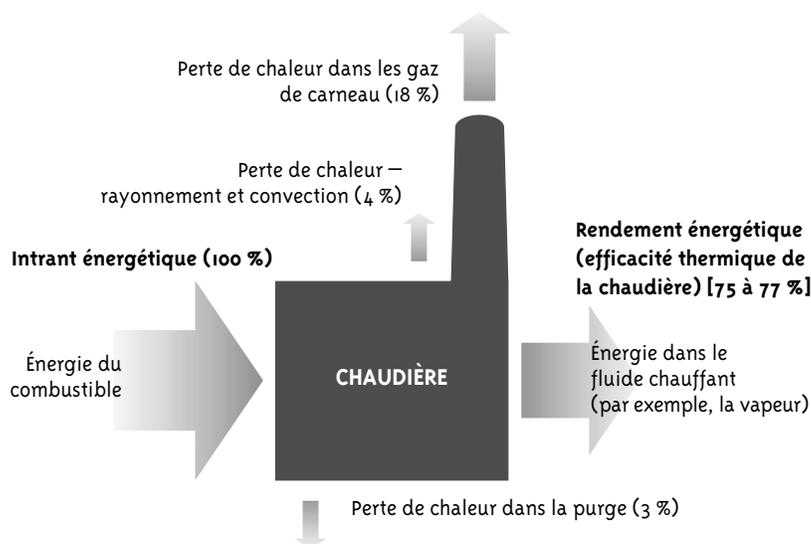


Figure 3. Équilibre énergétique type d'une chaudière ou d'un système de chauffage (avant les améliorations)



Une approche systématique d'amélioration de l'efficacité énergétique des chaudières, plutôt que des améliorations faites sans méthodes, comprend quelques étapes simplifiées telles qu'elles sont présentées dans la **figure 2**.

Une vérification de la chaudière (voir la liste de contrôle simplifiée pour la vérification à l'annexe) permettra probablement de déceler les pertes et les inefficacités énergétiques. L'objectif d'une gestion de l'énergie adéquate est de minimiser ces anomalies et les résultats peuvent être importants tant en ce qui concerne les économies que les émissions.

La **figure 3** donne un aperçu pratique des éléments qui doivent être visés par les activités de conservation de l'énergie. Toutefois, quelle que soit l'importance de l'exploitation économique et efficace d'une chaudière, il ne faut pas se contenter d'examiner ce seul point. Si l'objectif est de réaliser des économies et d'améliorer la récupération d'énergie, il est nécessaire de vérifier les éléments suivants :

- Les besoins en chauffage et les aspects de l'efficacité énergétique des procédés, des produits et des pièces d'équipement consommant de la chaleur;
- Les systèmes de distribution de chaleur (tels que la vapeur et le condensat).

La réduction des pertes de chaleur et d'énergie d'une chaudière peut être réalisée grâce à plusieurs méthodes dont certaines comme la production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération) sont élaborées et complexes. D'autres, au contraire, sont faciles à appliquer et offrent de bons résultats.

Exemples récents : Une usine de produits chimiques réalise des économies de 500 000 \$ par an car on y a vérifié et remplacé tous les purgeurs de vapeur qui fuient. Une usine de contreplaqué a réduit sa charge de vapeur de 2 700 kg/h (6 000 lb/h) car on y a amélioré l'isolation de la tuyauterie.

En abaissant la pression de la vapeur ou la température de l'eau du système en fonction des besoins réels des procédés utilisés, il est également possible de réduire la consommation d'énergie.

Les objectifs d'amélioration de l'efficacité énergétique se répartissent dans les principales catégories suivantes.

FONCTIONNEMENT ADÉQUAT DE LA CHAUDIÈRE

Garder la chaudière propre

À l'exception du gaz naturel, presque tout combustible laisse une certaine quantité de dépôt sur les **parois des tuyaux exposées aux flammes**. Ce dépôt, appelé encrassement, réduit fortement le transfert de chaleur. Des tests ont démontré qu'une couche de suie de 0,8 mm (0,03 po) seulement entraîne une réduction du transfert de chaleur de 9,5 p. 100 et qu'une couche de 4,5 mm (0,18 po) provoque une réduction de 69 p. 100. En conséquence, la température des gaz de carneau augmente, tout comme le coût de l'énergie.

Les chaudières consommant des combustibles solides (tels le charbon et la biomasse) ont une forte tendance à l'encrassement, alors que celles alimentées aux combustibles liquides (particulièrement les huiles filtrées) ont moins tendance à s'encrasser. Pour maintenir l'efficacité optimale de la chaudière, il faut que les surfaces de cette chaudière restent aussi propres que possible. Les chaudières de grande dimension et celles alimentées avec des combustibles qui ont une forte tendance à provoquer un encrassement, sont munies de systèmes de soufflerie permettant d'éliminer la suie sur les parois

exposées aux flammes pendant le fonctionnement. On peut également utiliser des brosses et des lances d'arrosage manuelles. Il est recommandé d'ouvrir régulièrement les petites chaudières, notamment celles alimentées au gaz naturel et celles n'incluant pas de souffleurs de suie, afin de les vérifier et de les nettoyer.

Les dépôts (appelés tartre) qui se retrouvent sur les **parois mouillées des tubes** de la chaudière peuvent entraver le transfert de chaleur, réduire l'efficacité de la chaudière, restreindre la circulation de l'eau et entraîner de graves problèmes mécaniques et de fonctionnement. Le tartre provoque une hausse de la température du métal des tuyaux, entraînant ainsi une augmentation de la température des gaz de carneau. Dans les cas extrêmes, les tubes deviennent défectueux en raison de la surchauffe.

Il faut se rappeler qu'une accumulation d'un millimètre de tartre peut entraîner une augmentation de 2 p. 100 de la consommation de combustible.

Au lieu de fermer et de purger les chaudières pour effectuer une vérification visuelle de la propreté des parois mouillées, on peut vérifier l'eau de la chaudière en effectuant des tests pendant qu'elle fonctionne; selon les résultats, on peut injecter certains produits chimiques de traitement de l'eau. Dans les petites installations à basse pression, l'eau de la chaudière est vérifiée quotidiennement et dans les grandes installations à haute pression, toutes les heures. Le programme d'essai et de traitement de l'eau est important pour assurer l'efficacité maximale et le fonctionnement fiable de toute installation de chaudière.

Une tendance continue à la hausse des températures des gaz de carneau pendant des semaines ou des mois indique en général qu'un dépôt s'est accumulé, soit sur les parois exposées aux flammes, soit sur les parois mouillées d'échange de chaleur de la chaudière. Dans ce cas, il faut vérifier la chaudière dans les moindres délais.

Éviter l'entrée d'air indésirable

Le contrôle efficace de l'air comburant en excès (tel qu'il a été abordé antérieurement) comprend également la protection contre l'infiltration d'air indésirable dans la cavité de combustion de la chaudière ou le système de carneau. L'air entre par les couvercles qui fuient, les lunettes d'observation, les joints défectueux et les autres ouvertures.

Eau de purge ou gaspillage d'argent

Même traitée (« déminéralisée »), l'eau d'alimentation de la chaudière contient de petites quantités de sels minéraux dissous. L'évaporation continue de l'eau des chaudières à vapeur et de l'eau douce d'appoint provoque l'augmentation de la concentration de ces minéraux et la formation de tartre. Pour éviter ce problème, l'eau de la chaudière doit être régulièrement purgée. En général et par précaution, cette opération est effectuée avec excès. L'eau de purge est chauffée, ce qui entraîne donc un gaspillage d'énergie, d'eau et de produits chimiques de traitement. Une mesure de prévention minimale consiste à vérifier régulièrement l'eau de la chaudière pour déterminer le niveau de matières solides dissoutes et régler le taux de purge.

Si la purge est effectuée une fois par jour ou à tous les quarts de travail, la concentration en matières solides dissoutes immédiatement après la purge est très inférieure au maximum acceptable. Si la purge peut être effectuée plus souvent en utilisant une plus petite quantité d'eau, ou continuellement, la concentration en matières totales dissoutes (MTD) peut être maintenue plus près du niveau maximum de sécurité recherché. Le contrôle de la concentration

en MTD est l'élément le plus important. On trouve sur le marché des dispositifs de contrôle automatique de purge permettant la mesure continue de la concentration en MTD.

Exemple : Envisager une chaudière de 23 t/h fonctionnant à 860 kPa (environ 50 000 lb/h à 125 lb/po²). L'eau de purge contient 770 kJ/kg (330 Btu/lb). Si le dispositif de purge en continu est réglé à la valeur habituelle de 5 p. 100 de l'évaluation maximale de la chaudière, le débit de purge serait de 1 150 kg/h contenant 885 500 kJ (environ 2 500 lb/h contenant 825 000 Btu). À une efficacité de 80 p. 100, cette chaleur requiert environ 29,7 m³/h (1 050 p³/h) de gaz naturel, d'une valeur approximative de 32 100 \$ par an (fondé sur 300 jours par an à 0,15 \$/m³).

De toute évidence, les systèmes de chaudière à eau chaude ne sont pas à l'origine de coûts de purge.

Maximiser le retour du condensat chaud

Le système à vapeur et à condensat doit être conçu de sorte que l'on puisse éliminer le coup de bélier et réduire les pertes et l'entretien.

Si une chaudière à vapeur subit une perte de condensat, on constate que la consommation d'eau est plus élevée, l'utilisation de produits chimiques de traitement de l'eau est plus fréquente et la production d'énergie thermique nécessaire pour chauffer l'eau d'appoint est accrue. Quand il y a retour du condensat, c'est-à-dire lorsque la pression du procédé est relâchée dans le réservoir de retour du condensat, de l'énergie supplémentaire est perdue sous forme de vapeur de détente. On peut minimiser de telles pertes, par exemple en immergeant l'entrée de retour du condensat dans le réservoir ou en installant un condenseur de buées à arrosage sur le dessus du réservoir.

Un système à circuit fermé fournissant un condensat de vapeur sous pression à rebouillir permet presque d'éliminer les pertes et requiert moins d'équipement de traitement de la vapeur.

Exemple : Récemment, une société minière du Québec a installé un système à condensat à circuit fermé. Elle a rapidement réduit de 18 p. 100 sa consommation d'énergie dans la chaufferie comparativement à un système à condensat de vapeur conventionnel à circuit ouvert.

RÉCUPÉRATION DES PERTES DE CHALEUR DE LA CHAUDIÈRE

Gaz de carneau

Il s'agit de la meilleure occasion de récupération de chaleur dans la chaufferie.

Une réduction de 20 °C (36 °F) de la température des gaz de carneau permet d'améliorer l'efficacité de la chaudière d'environ 1 p. 100.

Même avec des brûleurs bien réglés fournissant des températures minimales de gaz de carneau, tout en réalisant une consommation complète du combustible, les températures de sortie de ces gaz peuvent normalement varier de 175 °C (350 °F) à 260 °C (500 °F). Il est encore possible de récupérer une partie de cette chaleur qui sinon « s'échapperait par la cheminée ». Les échangeurs de chaleur peuvent être utilisés pour préchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière (économiseurs) ou l'air comburant (réchauffeurs). En général, les économiseurs permettent une amélioration de 3 à 4 p. 100 de l'efficacité globale de la chaudière.

Les concepteurs et les opérateurs d'économiseurs doivent prendre en considération les problèmes de corrosion éventuels, en particulier dans les combustibles contenant du soufre. L'humidité contenant de l'acide sulfurique corrosif risque de se condenser sur toutes les surfaces des échangeurs de chaleur dont la température descend sous le point de rosée

acide. En général, ce phénomène se produit près de l'entrée d'air comburant ou d'eau d'alimentation à chauffer.

Chaque chaudière a une limite particulière de basse température de gaz de carneau qu'il faut déterminer individuellement si l'on envisage un échange de chaleur complémentaire. Comme les températures des gaz de carneau sont plus basses à des charges faibles, les économiseurs sont souvent équipés d'un dispositif de contrôle de dérivation permettant de maintenir ces températures au-dessus d'un minimum préétabli.

Les économiseurs à condensation permettent d'améliorer l'efficacité de la récupération de la chaleur des gaz de carneau en refroidissant ces gaz à une température sous le point de rosée acide. Ils permettent ainsi de récupérer tant la chaleur sensible provenant des gaz de carneau que la chaleur latente de l'humidité qui condense. Il peut y avoir de l'humidité dans le combustible, mais la plus grande partie se forme par combustion de l'élément d'hydrogène du combustible (voir « Perte causée par l'humidité engendrée par la combustion de l'hydrogène », page 2). Comme la condensation (et le risque de corrosion qui en découle) est inévitable, le système d'échange de chaleur doit être fabriqué avec des matériaux qui ne se corrodent pas. **Dans les économiseurs à contact direct**, l'eau est vaporisée directement dans les gaz de carneau et l'eau chaude qui est ainsi générée est recueillie et utilisée après traitement afin de neutraliser son potentiel de corrosion. (Il s'agit d'un avantage secondaire de la condensation des gaz de carneau à contact direct : elle élimine les particules et les gaz acides tels le SO₂ provenant de l'évacuation.) Grâce aux économiseurs à condensation, les rendements globaux des chaudières peuvent être supérieurs à 90 p. 100. Les thermopompes peuvent compléter un système de récupération de la chaleur des gaz de carneau, améliorant ainsi davantage l'efficacité de la récupération.

Exemple : On a installé des économiseurs à condensation à contact direct à l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal. La chaleur récupérée a servi pour le chauffage à eau chaude des locaux, la climatisation, le blanchissage, l'alimentation en eau chaude sanitaire et la cuisine. Ces mesures ont permis de réduire de 11 p. 100 la consommation de gaz naturel et de diminuer les émissions de CO₂ de 12 000 t.

Récupération de chaleur générée par la purge

Nous avons présenté auparavant quelques moyens permettant de limiter le volume de purge et la perte de chaleur. Les échangeurs thermiques peuvent récupérer la chaleur sensible générée par la purge et s'écoulant dans le réseau d'égouts afin de chauffer l'eau d'appoint de la chaudière et effectuer d'autres activités similaires.

UTILISATION ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUDIÈRE

Si une chaudière doit être remplacée ou si elle requiert des améliorations importantes, il faut revoir son utilisation et ses dimensions. De nombreuses installations de chaudière, en particulier celles utilisées pour le chauffage des locaux, doivent répondre à des besoins qui varient considérablement en raison des saisons ou d'autres éléments. Lorsque la chaudière a un rendement de 40 p. 100 inférieur à la capacité maximale évaluée, son efficacité à convertir l'énergie du combustible en vapeur ou en eau chaude chute fortement à charge faible. Par conséquent, il est logique de choisir des chaudières en fonction de leurs dimensions et des divers besoins. Une petite chaudière pourrait être installée pour fonctionner presque à pleine charge pendant les périodes où la demande est faible et une ou deux chaudières de plus grande capacité pourraient subvenir aux besoins de charges de pointe.

Dans l'évaluation de l'utilisation et des dimensions d'une chaudière, il faut prendre en considération les exigences actuelles et futures de chauffage et de

vapeur industrielle. Au cours de la révision du procédé et de l'équipement connexe, de nouvelles possibilités d'améliorations éconergétiques peuvent se présenter.

Exemple : Au pénitencier de la Saskatchewan, on a installé deux nouvelles chaudières de petite dimension, adaptées aux charges correspondant à l'été (fonctionnement individuel) et pouvant fonctionner en parallèle pendant l'hiver. On a remplacé les anciennes chaudières surdimensionnées qui fonctionnaient à débit réduit pendant la plus grande partie de l'année. Cette solution a entraîné une amélioration de l'efficacité à des taux de combustion plus élevés. En ce qui concerne les locaux chauffés, les économies de gaz correspondaient à 500 000 m³ (17 p. 100) et s'élevaient à 75 000 \$ par an, et les émissions de CO₂ ont chuté en conséquence. Les nouveaux brûleurs à faible émission de NO_x ont permis de réduire les émissions d'oxyde d'azote de 70 p. 100.

PRODUCTION COMBINÉE D'ÉLECTRICITÉ ET DE CHALEUR – COGÉNÉRATION

Les anciennes chaudières inefficaces requièrent souvent des mises en état importantes et coûteuses. Dans ce cas, s'il y a des demandes de chauffage et d'électricité ou si l'électricité peut être vendue à profit, on peut envisager la cogénération ou la production combinée d'électricité et de chaleur. Au Canada, le plus grand potentiel des systèmes de cogénération consiste à remplacer, dans l'ensemble du pays, des milliers de petites chaudières trop anciennes par des installations produisant de l'électricité et de la chaleur. Cette solution permet une meilleure efficacité que si l'électricité et la chaleur étaient générées séparément.

La cogénération peut requérir plus de combustible et une quantité beaucoup plus importante de capital que ce qui est nécessaire pour simplement répondre aux besoins en chaleur. Toutefois, l'énergie électrique et le rendement thermique supérieur découlant de la

cogénération représentent un avantage car l'énergie totale, tant électrique que thermique, est fournie à un coût plus faible. En raison du rendement élevé de l'énergie globale de la cogénération (jusqu'à 85 p. 100), des avantages pour l'environnement se traduisant par une réduction des émissions de CO₂ et de NO_x, ainsi que de la déréglementation actuelle du marché canadien de l'énergie, on s'intéresse de plus en plus à cette technologie qui évolue rapidement.

Une installation de cogénération type se compose d'un moteur d'entraînement tels une turbine à gaz ou un moteur à piston et d'un générateur de vapeur à récupération thermique qui est un genre de chaudière. Le moteur commande un générateur électrique et parfois d'autres appareils, tels que des compresseurs d'air. L'évacuation, par le biais du générateur de vapeur, fournit de la chaleur pour le chauffage ou l'utilisation industrielle. À présent, on trouve des installations de cogénération dont le rendement varie de quelques kilowatts à des dizaines de mégawatts.

Pour évaluer un produit de cogénération éventuel, il est nécessaire de consulter un spécialiste.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

Pour optimiser le rendement et améliorer l'efficacité énergétique d'une chaudière, il faut considérer certains facteurs, tels l'entretien régulier et les petites mises en état. Quand il s'agit d'apporter une amélioration importante, il faut également tenir compte d'autres facteurs.

Isolation

La vérification d'une chaudière peut permettre de déceler une isolation et une tuyauterie inadéquates requérant une réparation ou un remplacement complet.

Exemple : Si seulement dix brides d'une canalisation de 10 cm (4 po) de diamètre supportant de la vapeur à 860 kPa (125 psi) ne sont pas isolées, la perte de chaleur annuelle équivaut à 2 450 m³ de gaz naturel (valant 370 \$).

Exemple : Une canalisation de vapeur de 3 m (10 pi) de long non isolée entraîne un gaspillage en coûts de production de vapeur correspondant à plus du double du prix de son isolation au moyen de fibre minérale et de gaine en aluminium.

Besoins en chauffage

La réduction de la pression de fonctionnement de la vapeur de la chaudière au minimum requis par l'utilisateur final ou la diminution de la température du fluide circulant dans les tuyaux des systèmes de chauffage peut avoir des répercussions importantes sur les économies d'énergie et la quantité de gaz à effet de serre générés. Ces économies sont le résultat d'une diminution de la consommation de combustible du système de chauffage et de la quantité de perte de chaleur du réseau de canalisation.

Pour modifier la pression de fonctionnement de la chaudière ou la température du fluide, s'assurer que la chaudière et les appareils d'utilisation finale peuvent fonctionner à la pression la plus faible (température). Les économies que l'on peut réaliser en termes d'environnement et de coût valent que l'on s'y intéresse.

Pertes d'énergie du système de distribution

Dans les systèmes à vapeur, les purgeurs de vapeur peuvent tomber en panne en moyenne jusqu'à 25 p. 100 du temps. Les fuites de vapeur des raccords de tuyaux, des robinets et des purgeurs peuvent provoquer des pertes d'énergie importantes. De plus, l'eau qui fuit doit être remplacée, traitée chimiquement et chauffée. Il s'agit là de conséquences moins évidentes, mais pourtant coûteuses. Les systèmes au fluide chauffant peuvent également être sujets à ce problème.

Exemple : Dans un système à vapeur de 690 kPa (100 psi), un seul purgeur défectueux de 3,2 mm (1/8 po) peut entraîner une perte de gaz naturel correspondant à 11 600 m³/an et équivalent à 1 700 \$.

S'assurer que la dimension de la tuyauterie est adéquate car des tuyaux surdimensionnés peuvent entraîner une augmentation des coûts du capital, de l'entretien et de l'isolation, ainsi que des pertes de chaleur en surface. Par contre, les tuyaux de dimensions insuffisantes exigent une pression plus élevée et une énergie de pompage supplémentaire. De plus, ils présentent des taux de fuite plus importants.

Une tuyauterie désuète et en surnombre entraîne un gaspillage d'énergie. Comme la tuyauterie est maintenue à la même température que le reste du système, la perte de chaleur par unité de longueur de tuyau reste la même. Les pertes thermiques engendrées par la tuyauterie en surnombre augmentent la charge calorifique des locaux et par conséquent, les besoins en ventilation et en climatisation. En outre, la tuyauterie en surnombre est peu entretenue et contrôlée, ce qui engendre des pertes supplémentaires.

Désaération inadéquate de l'eau d'alimentation de la chaudière

Une quantité aussi faible que 1 p. 100 par volume d'air dans la vapeur peut entraîner une réduction de l'efficacité du transfert de chaleur pouvant atteindre 50 p. 100. Surveiller le processus de désaération et vérifier si le fonctionnement des événements est adéquat.

Chaleur en cascade

L'utilisation de la chaleur en cascade peut représenter une excellente occasion d'améliorer l'efficacité énergétique globale des installations dont les besoins en chauffage sont multiples. La chaleur utilisée à une étape du procédé peut servir à chauffer ultérieurement. Il faut diriger la chaleur de haute qualité produite par le combustible vers le procédé requérant les températures les plus élevées et le rejet thermique doit servir pour les demandes de températures plus basses. La chaleur émise à la fin du processus devrait correspondre aux températures les plus basses possibles du point de vue économique.

Exemple : L'air ou le gaz évacué par un procédé requérant des températures élevées circule dans une chaudière de récupération afin de générer de la vapeur à basse pression ou de l'eau chaude pour le chauffage des locaux et de l'eau à usage industriel. Par exemple, la chaleur résiduelle sert également au refroidissement, par le biais du refroidisseur à absorption. On peut récupérer, entreposer et réutiliser la chaleur de diverses manières.

Aborder la gestion de l'énergie en faisant preuve d'ouverture d'esprit afin d'évaluer de manière critique les pratiques acceptées dont certaines peuvent s'avérer inefficaces. La curiosité et la prise de conscience, ce que l'on tente d'encourager dans le présent chapitre, ainsi que l'imagination et l'aide de spécialistes peuvent se traduire par de nombreux avantages en matière de réduction de la consommation et des coûts de l'énergie.

Les « possibilités de gestion de l'énergie » permettent de déterminer comment consommer l'énergie intelligemment afin d'économiser de l'argent et de limiter les répercussions sur l'environnement. Ce chapitre présente des idées éprouvées qui peuvent permettre d'améliorer le fonctionnement des systèmes de chauffage. Choisir les possibilités de gestion de l'énergie dans les listes correspondant à la situation donnée et les combiner à d'autres mesures d'efficacité énergétique.

Nota

- Les conseils se rapportant aux possibilités de gestion de l'énergie sont répartis en trois catégories. La différence de prix entre les **possibilités à faible coût** et les **remises à neuf** dépend de l'importance, du type et de la politique financière de l'organisation. L'entretien des locaux représente la troisième catégorie.
- En raison des diverses circonstances, il est impossible d'indiquer quand une possibilité de gestion de l'énergie sera rentable. En général, on peut s'attendre cependant à ce que les **possibilités de remise à neuf** présentent la période de récupération de l'investissement la plus longue.

LES POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE RELATIVES À L'ENTRETIEN DES LOCAUX constituent des activités de gestion de l'énergie à effectuer régulièrement, soit au moins une fois par an.

- Faire fonctionner de manière efficace l'équipement d'exploitation utilisant un jet de vapeur en aval (ou un fluide chauffant) grâce à

l'établissement d'une planification et d'un suivi adéquats de la production.

- Essayer de faire fonctionner l'équipement d'exploitation utilisant un jet de vapeur en aval (ou un fluide chauffant) à plein rendement.
- Au besoin, mettre hors service l'équipement utilisant un jet de vapeur en aval (ou fluide chauffant).
- Essayer de stabiliser la demande en chauffage en révisant le calendrier de demande d'exploitation. Ainsi, on minimise les variations de charge des chaudières et on optimise leur rendement. Essayer de faire fonctionner les chaudières à pleine charge.
- Préserver la qualité de la vapeur grâce à un programme régulier de traitement chimique de l'eau et au régime de purge. S'assurer que l'équipement de désaération de l'eau d'alimentation et les événements de la tuyauterie de la vapeur fonctionnent de manière adéquate.
- Contrôler régulièrement les combustibles de gaz de carneau et l'excédent d'air comburant. Effectuer les réglages en fonction des conditions changeantes.
- Vérifier et éliminer l'entrée d'air indésirable dans la chaudière et le système d'évacuation du gaz de carneau.
- S'assurer que le réglage des brûleurs est toujours adéquat.
- Assurer d'excellentes conditions de fonctionnement pour ce qui est des dispositifs de régulation de l'air et du combustible.
- Calibrer l'équipement et les instruments de mesure, et mettre régulièrement au point le système de contrôle de la combustion.
- Vérifier régulièrement tous les réglages des commandes.
- Vérifier régulièrement le rendement de la chaudière.
- Surveiller régulièrement les données liées au rendement de la chaudière et les comparer aux normes et aux objectifs.

- Appliquer des programmes de suivi et d'entretien préventif pour la chaudière et les systèmes de distribution de chaleur et de récupération de condensat.
- Vérifier les surfaces de transfert de chaleur mouillées et celles exposées aux flammes lorsque l'installation de chauffage est hors service. Maintenir les surfaces propres.
- S'assurer que l'équipement anti-encrassement pour les parois exposées aux flammes fonctionne de manière adéquate.
- Vérifier de façon routinière l'intégrité du circuit de vapeur et de condensat (circuit d'alimentation et de retour de fluide chauffant) et de l'équipement connexe. Faire une inspection des locaux, afin de vérifier, à l'aide d'équipement de détection approprié (par exemple, détecteur ultrasonique, tiges d'écoute, pyromètre et stéthoscope), s'il y a des fuites de vapeur qui doivent être réparées. Réparer ces fuites.
- Établir un programme et des procédures d'inspection et d'entretien des purgeurs de vapeurs.
- Vérifier l'isolation contre la pénétration d'eau. Localiser la source d'humidité (par exemple un tuyau qui fuit) et résoudre le problème.
- Remplacer ou réparer toute isolation ou recouvrement d'isolation manquant ou endommagé.
- Vérifier si le type d'établissement ou d'industrie génère des sous-produits combustibles comme des résidus d'écoulement d'hydrogène, d'oxygène, de monoxyde de carbone, de biogaz ou d'hydrocarbures, ainsi que de la biomasse, qui pourraient alimenter à peu de frais la chaudière.
- Ajouter de l'équipement de mesure, de comptage et de contrôle à la chaudière et aux systèmes de distribution de la chaleur afin d'évaluer les débits de combustible, de vapeur, de fluide chauffant, de condensat et de purge.
- Optimiser l'emplacement des capteurs. S'assurer que les dispositifs de contrôle et de détection sont facilement accessibles.
- Placer des dispositifs de verrouillage sur les commandes afin d'éviter les manipulations et les réglages non autorisés.
- Envisager de commencer un programme de mesure et de ciblage permettant une meilleure gestion de la consommation d'énergie thermique (et autres services) dans l'ensemble des établissements.
- Réparer, remplacer ou ajouter des événements (par exemple, les événements thermostatiques).
- Envisager la récupération de chaleur provenant de l'eau de purge par l'utilisation de réservoirs de décompression pour produire de la vapeur d'eau à basse pression à partir de la purge, et l'utiliser dans d'autres applications de chauffage telles le désaérateur. Se servir de l'eau restant dans l'échangeur de chaleur pour préchauffer l'eau d'appoint.

LES POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE À FAIBLE COÛT sont des activités de gestion effectuées une seule fois à un coût raisonnable.

- Établir et mettre en œuvre des procédures de fonctionnement et des instructions de travail. Au besoin, former les opérateurs de chaudières et d'autres employés. Sensibiliser tous les employés à la question de l'efficacité énergétique.
- Faire fonctionner la chaudière (le système de chauffage) à la pression de vapeur (ou température de fluide chauffant) la plus faible répondant aux besoins du processus de production. À cette fin, il peut être nécessaire de modifier le processus, l'installation et l'équipement.
- Remettre en état les postes de réduction de pression de vapeur.
- Considérer les moyens permettant de capter le rayonnement thermique et la chaleur par convection de la calandre de chaudière pour le préchauffage de l'air comburant. Penser aux avantages économiques de ces mesures.
- Relocaliser l'entrée d'air comburant dans un endroit où l'air entrant bénéficie de la température la plus élevée possible tout au long de l'année.

- Optimiser les dispositifs de régulation de combustible et d'air.
- Isoler les tuyaux, les brides de soutien, les raccords et les autres équipements de manière efficace en utilisant une épaisseur d'isolation qui est économiquement avantageuse. Au besoin, améliorer l'isolation.
- Vérifier si la fonction de purge du circuit de récupération de vapeur et de condensat de vapeur (ainsi que les serpentins de chauffage et tout autre équipement utilisant la vapeur) est adéquate. Cette mesure permet d'éliminer le coup de bélier, les pertes et les dommages.
- Mettre hors service le système de canalisation de vapeur et de condensat lorsqu'il n'est pas utilisé.
- Rechercher des possibilités de rationaliser et de moderniser le circuit de vapeur et de condensat. Si possible, examiner les plans existants de la tuyauterie de l'installation ou effectuer une inspection des locaux. S'assurer d'abord que les tuyaux désuets, inutilisés ou en surnombre peuvent être isolés du reste du système, et enlever ensuite les pièces inutiles.
- Établir un programme visant le remplacement du purgeur de vapeur d'eau.
- Remplacer les chaudières désuètes par des appareils à haut rendement, peu polluants et équipés de brûleurs de nouvelle technologie et d'options de récupération de chaleur qui sont appropriés pour les besoins.
- Moderniser le brûleur à combustible. Envisager par exemple l'utilisation de la technologie d'injection directe de combustible. L'utilisation à temps plein d'un brûleur régénératif à injection directe de combustible permet de réduire les émissions de NO_x d'environ 90 p. 100 comparativement aux brûleurs régénératifs courants. Ce genre de brûleur compact permet de simplifier les choses, de réduire les effectifs, de diminuer considérablement la consommation d'énergie et de récupérer l'investissement en peu de temps.
- Installer un générateur de turbulence dans la chaudière à tube de fumée.
- Convertir la chaudière à huile en une chaudière au gaz naturel. Bien que cette mesure permette d'économiser plus d'argent que d'énergie, elle présente certains avantages opérationnels et environnementaux.
- Convertir au besoin le chauffage à la vapeur indirect en chauffage direct.
- Convertir au besoin le chauffage à la vapeur en chauffage au fluide chauffant.

LES POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE relatives aux remises en état représentent des activités effectuées une seule fois à un coût important.

- Réévaluer s'il y a des possibilités d'éliminer ou de réduire l'utilisation de vapeur ou de fluide chauffant dans les installations et dans l'industrie. Dans l'affirmative, effectuer des modifications ou adopter une technologie ou un équipement de production neuf. Par exemple, remplacer la pasteurisation par une filtration et un remplissage dans des conditions stériles. En plus de la chaleur, il est également possible d'utiliser d'autres sources telles une pompe géothermique, des murs Trombe ou le stockage thermique.
- Réévaluer si un produit résiduaire est brûlé pendant l'exploitation (par exemple, dans le cas des industries pétrochimiques, de l'acier ou de la chaux). Dans l'affirmative, penser à l'utiliser pour préchauffer l'air comburant des chaudières ou même pour faire fonctionner un générateur à microturbines.

- Installer de l'équipement permettant de récupérer la chaleur dans le système de gaz de carneau, notamment des économiseurs, des préchauffeurs et des condenseurs de gaz de carneau (contact indirect ou direct). Si cet équipement est déjà installé, réévaluer son efficacité et envisager son remplacement ou sa remise en état.
- Prendre en considération d'autres utilisations de la chaleur résiduelle des gaz de carneau. L'utiliser pour le chauffage des locaux, le chauffage industriel ou le séchage du produit ou du biocombustible.
- Envisager l'installation de convertisseurs de chaleur à absorption dans le système de gaz de carneau.
- Récupérer la chaleur des débits résiduels, tels que la vapeur de détente. Choisir parmi les nombreuses options offertes. Penser à incorporer une thermopompe dans le système pour améliorer davantage la récupération de l'énergie ou intégrer la nouvelle technologie des échangeurs thermiques compacts très efficaces à d'autres procédés.
- Envisager l'installation d'un système de retour de condensat sous pression en circuit fermé.
- Engager un entrepreneur qualifié pour réaliser une nouvelle conception du circuit de vapeur et de condensat afin de maximiser son utilisation. Renouveler la tuyauterie des systèmes ou relocaliser l'équipement afin de raccourcir la tuyauterie.
- Au besoin, envisager de rapprocher l'alimentation et les dispositifs de production de vapeur (peut-être plus petits ou neufs) de l'équipement fonctionnant à la vapeur.
- Utiliser des tuyaux de dimension adéquate. Dans les systèmes à fluide chauffant, tenir compte de l'économie réalisée grâce à l'augmentation du diamètre des tuyaux comparativement au coût du pompage et des pertes de pression.
- Évaluer l'économie engendrée par l'amélioration de l'isolation. Considérer l'évolution du coût de l'énergie et consulter un spécialiste impartial. Améliorer les gaines d'isolation.

MODÈLE DE LISTE DE CONTRÔLE POUR LA VÉRIFICATION D'UN SYSTÈME DE CHAUFFAGE

Les questions suivantes aideront à déceler les imperfections. Pour plus de détails, formuler des questions supplémentaires au moyen de la technique multiniveaux :

Gestion

- L'utilisation de vapeur et de fluide chauffant dans les installations est-elle budgétée? Est-elle contrôlée? A-t-on défini des objectifs de consommation?
- Dans l'affirmative, les consommateurs d'énergie thermique sont-ils responsables de cette utilisation? De quelle manière?
- A-t-on approuvé des procédures et des instructions de travail régissant la production, la distribution, le contrôle et d'autres procédés concernant l'énergie thermique?
- Les employés ont-ils été informés de l'importance de la conservation de l'énergie et des services et utilisent-ils des pratiques adéquates?
- Les opérateurs de systèmes de chauffage participent-ils aux efforts de conservation de l'énergie et des services?
- Les employés sont-ils conscients du coût de l'énergie et des services ainsi que des dépenses relatives à l'établissement de ces services? Sont-ils très intéressés à obtenir de meilleurs résultats?
- Existe-t-il un système permettant de communiquer aux employés les résultats des activités visant la conservation de l'énergie et des services?

Consommation de chaleur

- Existe-t-il des procédures de mise hors service des équipements principaux et auxiliaires de production consommant de l'énergie thermique quand ils ne sont pas utilisés?
- Les procédures susmentionnées sont-elles appliquées?

- La production de vapeur ou de fluide chauffant est-elle réalisée à des températures ou à des pressions supérieures à celles requises par les procédés, les produits, les installations et les équipements dont se sert un utilisateur final?
- Dans les installations comportant plusieurs chaudières, comment la demande en vapeur est-elle adaptée à l'utilisation de la chaudière? Comment cette adaptation est-elle réalisée pendant les fins de semaine, les périodes de non-production et les différentes saisons?

Combustibles

- Est-il possible d'utiliser une autre source d'énergie thermique de remplacement moins coûteuse ?
- Est-il possible d'utiliser des sous-produits en tant que combustible auxiliaire ou complément de combustible?
- Si l'on utilise le gaz naturel, a-t-on évalué les coûts des contrats non interruptibles d'approvisionnement par rapport à ceux des contrats interruptibles?
- La chaudière a-t-elle une capacité double lui permettant d'utiliser le gaz naturel ou le mazout afin de bénéficier des contrats interruptibles d'approvisionnement en gaz?

Stockage de combustible

- Les réservoirs d'huile chauffée et la tuyauterie connexe sont-ils isolés de manière adéquate?
- L'isolation extérieure des articles susmentionnés est-elle étanche?
- L'huile est-elle chauffée à la température adéquate?
- Le combustible solide (par exemple, la biomasse) est-il protégé de la pluie? Est-il sec?

Chaudières et distribution de vapeur

- Le gaz de carneau ne contient-il pas de combustibles?
- Vérifie-t-on régulièrement l'efficacité de la chaudière?
- Utilise-t-on une méthode adéquate pour déterminer l'efficacité de la chaudière?
- L'efficacité est-elle acceptable pour le type de chaudière et de combustible?
- Le brûleur fonctionne-t-il dans la « zone d'efficacité de combustion maximale »?
- Les pertes de chaleur de la chaudière et du système sont-elles décelées et quantifiées?
- Vérifie-t-on régulièrement les gaz de carneau afin de déceler le contenu en combustibles, en monoxyde de carbone et en oxygène? La concentration se situe-t-elle dans une plage acceptable?
- Comment gère-t-on l'excès d'air comburant? À quelle fréquence?
- De l'air indésirable peut-il entrer dans la chaudière et le tuyau de carneau?
- Quel type de contrôle de l'air ou du combustible utilise-t-on? Comment l'assure-t-on?
- Quel type d'équipement utilise-t-on pour le contrôle du système? De quels instruments se sert-on?
- Où se trouve l'entrée d'air comburant?
- L'air comburant est-il préchauffé? Dans l'affirmative, de quelle manière?
- Les niveaux de NO_x des gaz de carneau sont-ils décelés et contrôlés? Se situent-ils dans une gamme acceptable?
- Quelles sont les températures des gaz de carneau à diverses charges de chaudière? Sont-elles contrôlées?
- La chaleur provenant des gaz de carneau est-elle récupérée? Quel type? Avec quelle efficacité?
- Y a-t-il des signes d'accumulation de suie sur la surface exposée aux flammes de la chaudière?
- Y a-t-il un programme d'inspection et d'enlèvement de la suie et du tartre accumulés sur les surfaces de transfert de chaleur du système de chauffage, ainsi que de l'équipement de procédé?
- La flamme dans la chambre de combustion est-elle vive? Remplit-elle la chambre de combustion sans excès?
- Quel est le taux de purge et ce niveau correspond-il aux recommandations des spécialistes du traitement des eaux? Ce taux est-il fondé sur la concentration de matières solides dissoutes dans l'eau de la chaudière? Les niveaux de matières solides dissoutes ont-ils été calibrés en fonction de la conductivité?
- Comment contrôle-t-on le taux de purge?
- Existe-t-il un système de récupération de la chaleur engendrée par la purge?
- Y a-t-il des tuyaux de vapeur surdimensionnés ou sous-dimensionnés ou en surnombre provoquant des pertes de chaleur? Existe-t-il un programme d'inspection des tuyaux?
- Les canalisations de vapeur, les brides, les robinets et les conduits de condensat sont-ils isolés de manière adéquate? L'isolation est-elle sèche et protégée contre les infiltrations d'eau?
- Y a-t-il des fuites de vapeur et de condensat?
- L'eau d'appoint est-elle préchauffée? Dans l'affirmative, comment?
- Le taux de retour de condensat est-il adéquat? L'a-t-on vérifié?
- Utilise-t-on le type de purgeur de vapeur approprié à l'application visée?
- Existe-t-il un programme d'entretien adéquat pour l'inspection, la réparation et le remplacement des purgeurs de vapeur? Combien de purgeurs sont défectueux?



Pour toute information ou pour obtenir des exemplaires du présent document, s'adresser à :

Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne
a/s Ressources naturelles Canada
Office de l'efficacité énergétique
580, rue Booth, 18^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Téléphone : (613) 995-6839
Télécopieur : (613) 947-4121
Courriel : cipec.peeic@nrcan.gc.ca



Office de l'efficacité énergétique
Office of Energy Efficiency

*Engager les Canadiens sur la voie de l'efficacité énergétique à la maison,
au travail et sur la route*

L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada est un organisme dynamique qui a pour mandat de renouveler, de renforcer et d'élargir l'engagement du Canada envers l'efficacité énergétique afin d'aider à relever les défis posés par les changements climatiques.